

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zajištění stavební jámky v moři

Ensuring Construction Pit at Sea

Student:

Bc. Adéla Jiroušková, DiS.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Adéla Jiroušková, DiS.**

Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**

Studijní obor: **3607T035 Geotechnika**

Téma: **Zajištění stavební jámky v moři
Ensuring Construction Pit at Sea**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod (předtím abstrakt v českém a anglickém jazyce), definice řešené problematiky
2. Technologie a zabezpečení stavebních jamek, zkušenosti z ČR a zahraničí
3. Stanovení charakteristického zatížení působícího na konstrukci, započtení zatížení typických pro konstrukce umístěné v moři (vlnobití, náraz lodí)
4. Vyhodnocení dosažených výsledků
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1997-1 : 2006. *Eurokód 7 - Navrhování geotechnických konstrukcí – část 1: Obecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 138 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-4 ed.2 : 2013. *Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2013. 124 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-7 : 2007. *Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí – část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 64 s.
- [4] NGAI, Edward. *New Works Design Standards Manual Section 4 Civil Engineering*. Hong Kong: MTR Corporation Limited, 2013. 170 pp.
- [5] Civil Engineering Office : *Port Works Design Manual Part 2 – Guide to Design of Piers and Dolphins*. Hong Kong: The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2004. 124 pp.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Hynek Labuta**

Datum zadání: **27.02.2015**

Datum odevzdání: **30.11.2015**




doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

podpis studenta

Prohlašuji:

byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)

Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO

bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona

bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)

beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě

Anotace:

Diplomová práce je rozdělena do několika částí. Úvodní část práce se zabývá pažením a zabezpečením nepropustných stavebních jímek v České republice. Jsou zde popsány druhy pažení a však především se práce věnuje pažení pomocí štětové stěny. A to z důvodu použitého příkladu v druhé části této práce, což je stavební jímka v moři, která je pažená štětovou stěnou. Dále v této části je zahrnut přehled zatížení působící na pažící konstrukce a vysvětlen pojem Batymetrie, která je nedílnou součástí návrhů konstrukcí v moři. V druhé části je poukázáno na vznik předpisů a standardů používaných v Hong Kongu. Je zde popsána geologie staveniště stavby Shatin to Central Link C1121 - Cross Harbour Tunnel. V této části bude proveden návrh a výpočet stavební jímky reprezentativního řezu A. Tento řez bude vypočten pomocí moderních výpočetních softwarů Plaxis 2D a Frew. Zbytek potřebných doplňujících výpočtů bude dopočítáno ručně. Poslední část je věnována souhrnu dosažených výsledků a závěru.

Klíčová slova:

stavební jímka, zatížení stavebních jímek, stavební jímky v moři, batymetrie, batymetrická mapa, geologie v ČR,

Annotation:

Thesis is divided into several parts. The introductory part deals with shoring and security watertight construction pits in the Czech Republic. There are described types of shoring and primarily the work deals with shoring using sheet pile walls. Because of the example used in the second part of this work which is building tank in the sea that is shoring sheet pile wall. Furthermore, this section includes an overview of the load acting on sheeting structure and explained the concept of Bathymetry, which is an integral part of the design of structures at sea. In the second part points to the emergence of regulations and standards used in Hong Kong. There is also described the geology construction site Shatin to Central Link C1121 - Cross Harbour Tunnel. In this section will be executed design and calculation of construction pits representative cross-section A. The cut will be calculated using modern.

Keywords:

building pit, load building pits, building pits in the sea, bathymetry, bathymetric map, geology in the Czech republic

Obsah diplomové práce:

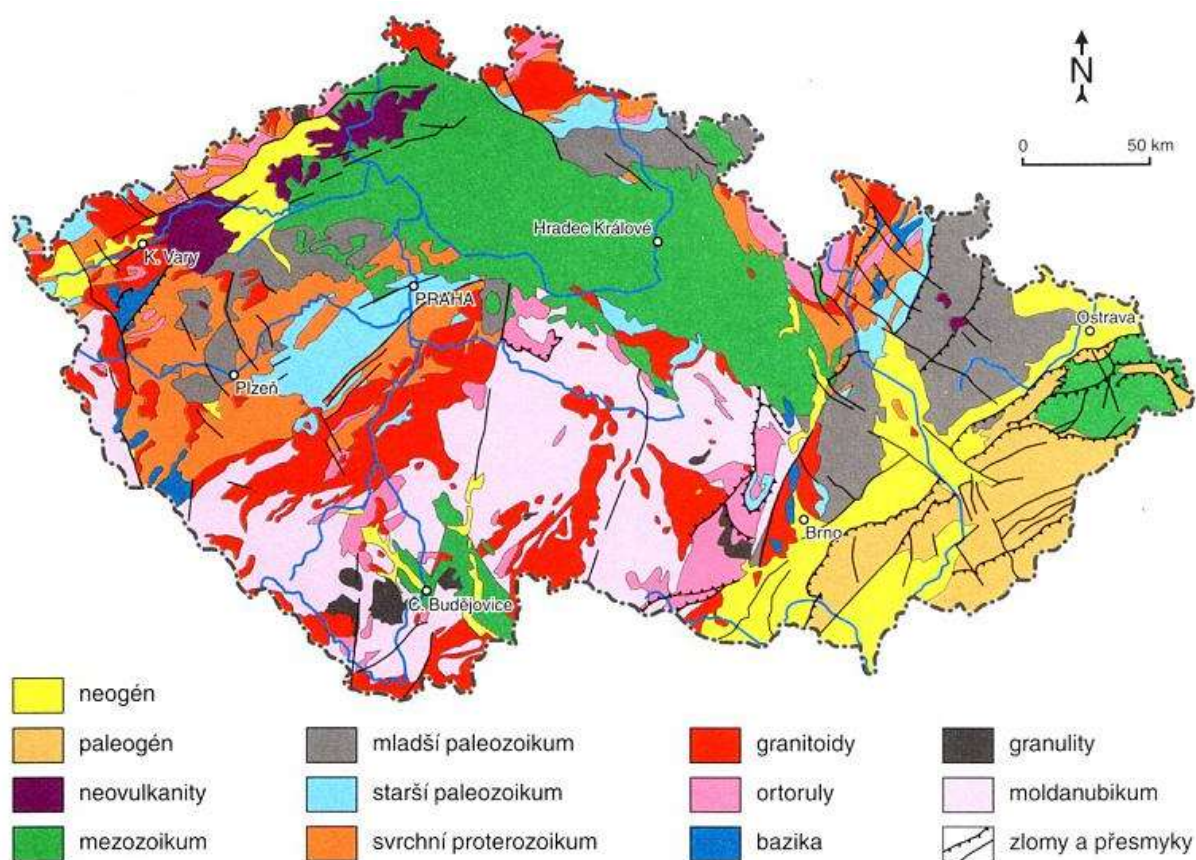
1. Úvod	6
2. Geologie České republiky	6
3. Technologie a zabezpečení stavebních jímek, pažící konstrukce nepropustné	7
3.1 Pažení nepropustná - druhy pažících konstrukcí	8
4. Zatížení pažících konstrukcí	16
4.1 Zemní tlaky	16
4.2 Podzemní voda	20
4.3 Zatížení vlnami - výpočet	22
5. Batymetrie	23
6. Stavba - návrh jímky v moři	26
6.1 Vznik geotechnických standardů v Hong Kongu	26
6.2 Geologie staveniště	27
6.3 Výpočet a návrh stavební jímky v moři	29
6.3.1 Výstupy a výsledky ze softwaru Plaxis 2D a Frew	30
6.3.2 Návrh a posouzení vzpěr - průřez válcovaný UB profil	37
6.3.3 Návrh a posouzení vzpěr - průřez ocelová trouba	46
6.3.4 Návrh a posouzení štětové stěny - průřez ocelová trouba	54
7. Vyhodnocení dosažených výsledků	58
8. Závěr	62
9. Seznam obrázků	63
10. Seznam tabulek	65
11. Seznam literatury a zdrojů	66
12. Seznam použitých zkratk a symbolů	69

1. Úvod

V České republice při návrhu jakékoli konstrukce postupujeme podle daných předpisů, a tím jsou Evropské Normy zvané "Eurokódy". Naše země není přímořským státem, tudíž používané normy a předpisy se značně liší od států, které přímořské jsou. V České republice jsou stavby navrhovány z hlediska ekonomické stránky. Na bezpečnost je kladen veliký nárok, ale předimenzování stavby investor neuhradí, proto se zde stavby navrhují bezpečně, ale i ekonomicky.

Výstavba v zahraničí se liší v použitých materiálech, každá země má svou jedinečnou geologii a podle té, se stavba, technologie a postup výstavby navrhuje, odlišné podnebí, dále se do výstavby zapojují firmy a odborníci z celého světa, kteří přinášejí nové technologie a nový pohled na problematiku. U ekonomicky vyspělých zemí se výstavba liší ve velikém měřítku, jedná se o velikosti stavby, počtu pracovních sil dělnických, odborných či použitých strojních technologií. Stavební konstrukce jsou navrhovány na vyšší bezpečnost a spolehlivost.

2. Geologie České republiky



Obr. 1: Zjednodušená geologická mapa České republiky

Z geologické mapy lze vyčíst, jaká hornina zastupuje danou oblast České Republiky. Geologické mapy jsou pouze orientační podklady. Při stavě jakékoli stavební konstrukce je třeba provést geologický průzkum daného staveniště, jelikož s rostoucí hloubkou a vzdáleností se složení hornin rychle mění. Po vyhodnocení geologického průzkumu se volí nejvhodnější zakládání staveb na vlivu vlastností základových půd.

3. Technologie a zabezpečení stavebních jímek, pažící konstrukce nepropustné

Základní dělení pažení stavebních jímek:

1. Z hlediska propustnosti:
 - a. pažení **nepropustná**
 - b. pažení **propustná**
2. Z hlediska doby funkce pažení:
 - a. **trvalá** - obvykle pažení s předpokládanou funkcí delší než 2 roky po realizaci
 - b. **dočasná** - funkce pažení max. do 2 let. [8]

Pažení stavebních jímek

Návrh pažení stavební jámy vyžaduje speciální pozornost, protože se jedná o pažení velkých rozměrů, kde řešíme hloubku výkopu a velký půdorysný rozměr. Stavební jámy slouží pro manipulaci velkých stavebních strojů, ukládání lokomotiv do železničních tunelů, jako základ pro suterény budov a dále se stavební jámy využívají k dosažení únosnějších vrstev zeminy. Velmi často jejich výstavba je prováděna v intravilánu což znamená, že výstavba je prováděna ve velmi stíněných podmínkách tudíž, by tato skutečnost měla být zohledněna v návrhu a výpočtu. [2]

Podle doby trvání jsou pažící konstrukce děleny na trvalé a dočasné. Dočasné pažení obvykle plní svou funkci maximálně 2 roky po realizaci, slouží tedy během výstavby pouze svému účelu a to k pažení jámy proti sesuvu půdy a nepropustnosti vody. Po dokončení stavby je pažení vyjmuto a stavební jámy je zasypána. Na trvalé pažení je oproti dočasnému kladen větší nárok na kvalitu a proto i tato varianta je nákladnější. Během výstavby je její funkce pažící a nepropustná a po dokončení se stává trvalou konstrukcí stavby, stává se tedy součástí objektu, proto jsou použité materiály jednotlivých částí roubení odolné proti agresivnímu prostředí (podzemní voda). [2]

Velký problém v ČR je tendence šetřit finance a to zejména na geologickém průzkumu a návrh se dimenzuje na co neekonomičtější variantu. Z tohoto důvodu se při výstavbě zjišťují nové skutečnosti např. o geologii staveniště, tyto skutečnosti mohou přinášet spoustu vážných problémů ekonomických i stavebních.

Projektant při návrhu pažicí konstrukce musí brát ohledy na hospodárnost návrhu, musí brát ohled na sousední objekty a jejich základy, případně vzniklým deformacím, dále se musí brát ohledy na sedání a s tím spojenou ochranu památek. Dalším problémem v návrhu je podzemní voda, která může být vůči konstrukcím agresivní, může mít kolísavou hladinu, může sahat až na dno stavební jámy, což by vyžadovalo čerpání a s tím spojené finanční náklady, též může být voda tlaková nebo může vykonávat proudění. [1]

Nepropustné pažení je prováděno pomocí tryskové injektáže, podzemních stěn, převrtávaných pilot a štětových stěn. Technologie se volí podle geologie, podle nároků na místo a finanční prostředky, s ohledem na vibrace a otřesy, deformace, hospodárnost a především v neposlední řadě na únosnost. [8]

Pažení navrhujeme na základě statického výpočtu. V dnešní době usnadňují návrhy výpočetní softwary např. Plaxis 2D, GEO 5, Frew. Nesmíme zapomínat, že každý případ je individuální. Pažení se posuzuje na všechna stadia jeho provádění.

3.1 Pažení nepropustná - druhy pažicích konstrukcí

Trysková injektáž

Funkce: trvalá i dočasná konstrukce

Použití: podzemní stavby - podchytávání stávajících základů
- lze vytvořit nepropustnou clonu okolo stavební jámy

Podzemní stěny

Funkce: trvalá i dočasná konstrukce

Použití: vodní hospodářství - usazovací nádrže
dopravní stavby - opěrné zdi, hloubené tunely
pozemní stavby - pažení stavebních jam

Předvrtávané piloty

Funkce: trvalá i dočasná konstrukce

Štětové stěny

Funkce: trvalá i dočasná konstrukce

Použití: vodní hospodářství - jímky pro jezy

- přístavní stěny

- pažení hlubších výkopů pod úroveň HPV

dopravní stavby - jímky pro mostní opěry toku

pozemní stavby - stavební jámy

[8]

Trysková injektáž

Metoda spočívá v mísení zeminy a injektážní malty, tímto mísením vzniká materiál, který tvoří cement i zrna zeminy. Používaná zemina je zemina z místních zdrojů či zemina z předešlých prací na místě staveniště. [3]

Délky vytvořených sloupů se pohybují od velmi krátkých až do 60 m délky. Tryskáním sloupů přes sebe se vytvářejí vodotěsné víceřadé stěny. Vrty mohou být vytvářeny nejen svislé, ale i šikmé, lze vytvořit i celé vějíře v jednom příčném řezu, použitím vějířů se zvyšuje stabilita. [8]

Vytvořené stěny injektáží lze kotvit. Z důvodů úspory místa se používá larsenová konstrukce, ale lze i použít železobetonový věnec. [8]

Postup provádění:

Do předpokládané hloubky stěny je vpravena speciální vrtná tyč. Poté je cementová směs pod tlakem cca 60 MPa tryskami vstřikována do okolí předvrtané zeminy při současné rotaci soupravy a postupně vytahována ze země, tímto postupem je tvořen souvislý sloup "betonu". Tyto sloupy mohou být posléze vyztuženy ocelovými trubkami, které se do nich zavibrují. Opakováním tohoto postupu v řadě, vzniká souvislá podzemní stěna tvořená sloupy. [3]

Tryskovou injektáž lze použít jako jednoduchou (popsána výše), dvojitou a trojitou. U dvojité injektáže se zemina nejprve rozruší stlačeným vzduchem nebo tlakovou vodou a poté se vpravuje injektážní suspenze. U trojité injektáže se zemina nejprve rozruší tlakovou vodou a vzduchem a až poté je smíchána s cementovou suspenzí. Výběr typu injektáže je závislý na geologických poměrech. V ideálních hrubozrnných zeminách lze vytvořit sloupy o průměru 2 m. [3]

Injektážní tlak musí být po celou dobu kontrolován a udržován aby byla zajištěna požadovaná kvalita injektáže, dále se musí kontrolovat poloha trysek, rychlost rotace a rychlost

vytahování soupravy ze země. Po tomto zákroku je původní struktura zeminy naprosto zničena. [3]

Výhody:

- nenáročná na prostor z hlediska strojního vybavení
 - použití i ve skalním podloží, průměr vytryskaných sloupů výrazně menší
 - použitý materiál není finančně náročný, jedná se o cement a zeminu, kterou není třeba těžit, dopravovat a zpracovávat
 - splňuje požadavky ekologie pro podzemní vody
 - možnost vodotěsnosti stěny
- [8]

Nevýhody:

- velmi finančně náročná
- [8]



Obr.2: Obnažené pilíře vzniklé tryskovou injektáží [autor]

Podzemní stěny

Tvoří souvislou stěnu, která dokáže přenášet velká zatížení do hloubek několika desítek metrů. Stěna plní funkci hlubinných základů funkci těsnící. Tloušťka stěn se navrhuje cca od 0,6 do 1,5 m. Stěna může být navržena jako pažicí konstrukce, kde tvoří těžko odstranitelnou překážku podzemní vodě a trvale tak ovlivní její režim. [5]

Postup provádění:

Rýha pro podzemní stěnu je hloubena na plnou hloubku závěsnými nebo hydraulickými dráčky mezi vodícími zídками. V dnešní době lze vyhloubit pomocí hydrofréz i rýhy hlubší než 150 m. [5]

K pažení rýhy se používá bentonitová suspenze, ve které je rozptýlen jílový materiál. Do vyhloubené rýhy zapažené bentonitovou suspenzí se vkládají prefabrikované stěny nebo se betonuje stěna monolitická. Suspenze zabrání zavalení rýhy zeminou a vplavování vody do výkopu. Suspenzi lze navrhnout též jako samotvrdnoucí, která vytěsni spáry a vytvoří nepropustnou celistvou konstrukci po vložení prefabrikátů. [5]

Monolitická podzemní stěna se hloubí po úsecích, které se v jednotlivých krocích spojují v jeden celek. Nejprve se vyhloubí rýha o šířce 0,15 - 0,40 m, délka 4,0 - 9,0 m a do obou konců se vloží ocelové výpažnice. Do takto připravené rýhy se vloží armokoš a prostor mezi nimi se vybetonuje. Po zatvrdnutí betonu se výpažnice vyjmou. Stejný postup se opakuje i pro rýhu vzdálenou ob jedno pole. Jako poslední se vyhloubí a zabetonuje vzniklá část mezi dvěma již vybetonovanými stěnami. V této poslední fázi se ocelové výpažnice nepoužijí. Nevýhodou monolitických stěn je betonáž na stavbě a tudíž vznik mokrého procesu při výstavbě, to způsobuje nezaručenou kvalitu a nerovný povrch stěny. [5]

Prefabrikované stěny se spojují na pero-drážku nebo jsou obě zdi po stranách vybrané a mezera se vyplňuje gumovým těsněním nebo hadicí do které se pod tlakem vpraví cementová zálivka. [5]

Po splnění pažícího účelu se podzemní stěna stává hlubinným základem a nebo vnitřní pohledovou stěnou.

Výhody:

- značná nepropustnost
- hloubení pomocí strojů i do měkkých typů hornin, kde není možnost použít beranění [22]

Nevýhody:

- velké rozměry hloubících strojů
- nejběžněji používané rypadlo s drapákem, je možno hloubit pouze určitých geologických podmínkách (zvětralá břidlice, zvětralý písek, jílovec atd.) [22]



Obr. 3: Podzemní stěna monolitická v Praze [autor]



Obr. 4: Podzemní stěna prefabrikovaná [autor]

Předvrtávané piloty

Předvrtávané pilotové stěny jsou rozšířeným typem pilotových stěn, jelikož nahrazují podzemní stěny monolitické tam, kde nelze použít jílovou pažící suspenzi.

Postup provádění:

Nejprve se provedou primární piloty z prostého betonu a po částečném zatvrdnutí betonu se mezi nimi provedou piloty sekundární. Při vrtání sekundárních pilot se předvrtá část betonu pilot primárních a tím dojde ke konstrukčnímu spojení obou typů pilot. Vyztužují se pouze sekundární piloty a to pomocí armokošů. Pokud je zapotřebí konstrukci kotvit, využijí se pro tento účel primární piloty.

Pro provádění předvrtávaných pilotových stěn je třeba zařídit kvalitní vodní šablony a nasadit vysoce výkonné vrtné soustavy, které jsou schopné udržet vrty ve svislé poloze.



Obr. 5: Stěna jámy z předvrtávaných pilot, bezbariérová šachta do stanice metra Florenc [14]

Štětové stěny

Ocelové štětové stěny jsou dnes využívány ve všech oblastech zakládání. Jsou buď použity jako prvek nezávislý vzhledem k základové konstrukci nebo tvoří její dočasnou/trvalou část. Velkou výhodou u těchto štětových prvků je to, že po vyjmutí ze zeminy je možné prvky opětovně použít. Používají se jako pažící konstrukce ve zvodněných zeminách soudržných i nesoudržných. Jsou značně vodotěsné, proto jsou velmi často využívány jako trvalé konstrukce v podobě lemu přístavních zdí, plavebních komor, jako trvalé konstrukce jímek na tekuté látky, jako ochranné mostní pilíře a plno jiných. Podle funkce existuje celá řada profilů tvaru U nebo Z. V České republice jsou nejznámější štětovnice Larsen a Union. Tyto typy jsou do zeminy zaváděny strojně vibrováním, každý profil je po stranách opatřen

průběžnými zámky, které po zaklesnutí zajistí tuhost a celistvost stěny. Tloušťky stěn profilů se pohybují okolo 10 mm. [4]

Dřevěné štětovnice se využívají v zeminách měkčích bez valounů a výkopech do hloubky cca 3 metry. Na hranoly je použito borové dřevo o tloušťce 100 - 180 mm a šířce až 240 mm. Zvýšení vodotěsnosti lze docílit spojením jednotlivých prvků šrouby. Hlava hranolů je obepnuta ocelovou objímkou a špice jsou zkoseny. Jednotlivé prvky se zatloukají na sraz popřípadě vzniklé mezery se vyplní koudelí. Opětovné použití dřevěných prvků se nepředpokládá. [4]

Železobetonové štětovnice oproti ocelovým štětovnicím mají větší odolnost proti abrazi, a proto se používají pro trvalou ochranu mořských břehů proti erozi. Mají však menší vodotěsnost, obtížněji se vpravují do půdy. Používají se ojediněle. [4]

Vhodné podmínky:

Písky a štěrkopísky jsou pro beranění velmi vhodné zeminy. [8]

Nevhodné podmínky:

Ve skalním podloží lze štětovnice beranit do malých hloubek, několik desítek cm. Při beranění v blízkosti stávající zástavby je třeba zvážit, zda nedojde k negativním účinkům na zástavbu. [8]

Provádění štětového pažení s ohledem na jednotlivé typy zeminy	
Velmi snadná	- soudržné zeminy měkké konzistence - nesoudržné zeminy kypré, neulehlé
Středně obtížná	- soudržné zeminy (tuhé až tvrdé konzistence) - nesoudržné zeminy středně ulehlé
Obtížná	- nesoudržné zeminy (stmelené písky, ulehlé štěrky) - zvětralé poloskalní horniny
Velmi obtížná	- nesoudržné silně ulehlé štěrky, hrubé štěrky do průměru 200 mm - zvětralé měkké horniny
Neúčinná	- nesoudržné kamenité, kamenité a balvanité sutě, více než 30% balvanů 200 mm - zvětralé, navětralé a zdravé horniny tř. R 4-1

Tab. 1: Provádění štětového pažení s ohledem na jednotlivé typy zeminy

Kotvení a rozpínání

Štětové stěny se mohou kotvit nebo rozpírat. Kotvení se provádí pomocí železobetonových převázek, možno kotvit skrz každou larsenu. Hlava kotvy se umísťuje nad úroveň vody za stěnu. Dále se kotví i pomocí ocelových táhel - spojí se dvě souběžné štětové stěny. Ocelové rozpěry mohou tvořit válcované i svařované profily. [8]

Výhody:

- rychlá výstavba
- jsou použitelné více než jednou
- okamžitě únosná konstrukce
- použitelná ve zvodněných zeminách, vodotěsná
- malé nároky na počet lidí při instalaci cena
- možnost vyhloubení jámy prakticky ihned po zavedení štětovnic do půdy [8]

Nevýhody:

- omezená hloubka jámy limitovaná délkou prvků
- štětovnice nejsou schopny překonat překážky v podobě např. větších balvanů
- málo tuhý systém může způsobit sedání v okolí stěny, především v intravilánu
- při instalaci vznikají rázy či vibrace spojené se značným hlukem bez možnosti eliminace
- při instalaci nedochází k těžbě zeminy Problém při křížení IS [8]

Při vpravování štětovnic do půdy mohou vzniknout problémy, tyto problémy můžeme eliminovat narušením půdy předvrtáním v okolí budoucích zámků. Zeminu kolem zámků není těžena, ale pouze uvolněna a tím klade menší odpor proti vniku štětovnic. [8]



Obr. 6: Štětová stěna, výstavba plavební komory na Vltavě [15]



Obr. 7: Štětová stěna, rekonstrukce stupně na řece Olši [16]

4. Zatížení pažících konstrukcí

4.1 Zemní tlaky

Jakákoli libovolná část zeminy v určité hloubce má svůj konkrétní stav napjatosti. Pokud se tento rovnovážný stav napjatosti naruší například odtěžením zeminy, bude zemina vytvářet nový rovnovážný stav napjatosti. Jakmile použijeme pažící konstrukci k zabránění změny polohy rovnovážného stavu vznikají mezi konstrukcí a zeminou zemní tlaky. Velikost těchto zemních tlaků je závislá na mechanických vlastnostech zeminy (objemová hmotnost, soudržnost...), na charakteru a přítomnosti podzemní vody, dále na drsnosti povrchu konstrukce, případném tření mezi zeminou a materiálem, ale především na posunutí,

pootočení nebo přetvoření zatížené části konstrukce. Velikosti zemních tlaků je potom vyjádřena součinitelem zemních tlaků, jejíž hodnoty jsou stanoveny poměrem příslušných horizontálních a vertikálních napětí. Rozeznáváme tři druhy zemních tlaků a to zemní tlak v klidu S_r , zemní tlak aktivní S_a a zemní tlak pasivní S_p . [6]

Zemní tlak v klidu S_r

Jedná se o zemní tlak, který se v půdě vyskytuje přirozeně. Po zavedení pažící konstrukce se tento tlak nedeformuje. Ve výpočtu se vyskytuje jako součinitel klidového zemního tlaku K_r . [26]

Vodorovné napětí působící na svislý rub zatěžované konstrukce, která se nedeformuje se stanoví:

$$\sigma_r = K_r * \sigma_z$$

Velikost tohoto součinitele vyplývá za předpokladu základové půdy jakožto pružného poloprostoru z rozšířeného Hookeova zákona:

$$K_r = \nu / (1 - \nu)$$

Pro praktické výpočty se využívá zejména empirické Jákyho formule:

$$K_r = 1 - \sin \varphi_c$$

Výslednice zemního tlaku v klidu S_r , působící na svislý rub konstrukce zatížené na plnou výšku h :

$$S_r = \frac{1}{2} \gamma * h^2 * K_r$$

Tato síla působí kolmo na svislou rubovou stěnu v těžišti zatěžovacího obrazce, má tedy vodorovný směr. Napětí při zemním tlaku v klidu σ_r v hloubce z pod vodorovným povrchem terénu, působící na šikmou stěnu odkloněnou od svislice o úhel α , se vypočte:

$$\sigma_r = \sigma_z * (\sin^2 \alpha + K_r^2 * \cos^2 \alpha)^{1/2}$$

přičemž úhel odklonu výslednice od normály ke stěně δ je:

$$\tan \delta = ((1 - K_r) * \tan \alpha) / (K_r + \tan^2 \alpha)$$

a normálová a tangenciální složka tohoto napětí:

$$\sigma_n = \sigma_z * (\sin^2 \alpha + K_r * \cos^2 \alpha); \tau = \sigma_z * (1 - K_r) * \sin \alpha * \cos \alpha$$

Výslednice zemního tlaku:

$$S_r = \frac{1}{2} \gamma * h^2 * (K_r^2 + \tan^2 \alpha)^{1/2}$$

Je-li terén šikmý ($|\beta| \leq \varphi$), potom napětí při zemním tlaku v klidu:

$$\sigma_r = (\sigma_z * K_r * \sin \varphi * \cos \beta) / (\sin \varphi - \sin^2 \beta)$$

Zemní tlak aktivní S_a

Zemní tlak aktivní reprezentuje zatížení zeminou, kde vlivem působení toho zatížení na konstrukci by docházelo k posunutí, pootočení nebo přetvoření konstrukce. Postupně se aktivuje smyková pevnost poklesne počáteční velikost tlaku. Po aktivaci (vytvoření) jedné nebo více smykových ploch se klín zeminy dostává do stavu mezní rovnováhy a zemní tlak dosáhne minimální hodnoty. [7] Tento případ by nastal tehdy, deformuje-li konstrukce směrem od zeminy a zemině nic nebrání, aby se přemisťoval. Deformace dosahují řádově desetin procenta výšky pažící konstrukce (cca 0,4%). Zemní tlak aktivní nabývá menších hodnot než zemní tlak v klidu. Ve výpočtu se vyskytuje jako součinitel klidového zemního tlaku K_a . [6]

Pro nesoudržné zeminy [9]

Napětí při aktivním zemním tlaku σ_a v hloubce působící na rubu zatížené konstrukce je:

$$\sigma_a = \sigma_z * K_a$$

$$K_a = (\cos^2 (\varphi - \alpha)) / \{ \cos^2 \alpha * \cos (\alpha + \delta) * [1 + (((\sin (\varphi + \delta) * \sin (\alpha - \beta)) / ((\cos (\alpha + \delta) * \cos (\alpha - \beta)))^{1/2})^2$$

Vodorovná a svislá složka napětí při aktivním zemním tlaku jsou pak dány:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a * \cos (\alpha + \delta); \sigma_{az} = \sigma_a * \sin (\alpha + \delta)$$

α - kritická smyková plocha, po níž dochází k usmyknutí sypké zeminy, svírá s vodorovnou úhel θ , pro nějž platí:

$$\theta = \varphi + \varepsilon, \text{ kde}$$

$$\cotg \varepsilon = \tg (\varphi - \alpha) + 1 / (\cos (\varphi - \alpha)) * [(\sin (\varphi + \alpha) * \cos (\alpha - \beta)) / (\sin (\varphi - \beta) * \cos (\varphi - \delta))]^{1/2}$$

Je-li terén za rubem vodorovný ($\beta = 0$), pažící konstrukce je svislá ($\alpha = 0$) a zanedbáme-li tření mezi zeminou a rubem konstrukce ($\delta = 0$), vychází známý vzorec:

$$K_a = \tg^2 (45^\circ - \varphi / 2)$$

Výslednice aktivního zemního tlaku se pak stanoví ze vztahu:

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma * h^2 * K_a$$

Pro soudržné zeminy [9]

Rozeznáváme 3 charakteristické typy soudržných zemin pro účely stanovení velikosti aktivního zemního tlaku:

a) nekonsolidované soudržné zeminy plně nasycené vodou, u nichž proces konsolidace nastane v době, kdy zatěží konstrukci a u nichž je smyková pevnost charakterizována:

$\varphi_u = 0$, $c_u \neq 0$. V tomto případě lze pro napětí při aktivním zemním tlaku psát:

$$\sigma_a = \gamma * z - 2c_u * (1 + a / c_u)^{1/2}$$

a - přílnavost (adheze) zeminy ke konstrukci, jež se vyjadřuje $a = (0,2 - 0,8) * c_u$.

Z rovnice vyplývá, že pro hloubku ($0 < z < h_c$) je vodorovné napětí záporné, respektive nulové, tudíž vzorec platí pro hloubku $z > h_c$, kde:

$$h_c = 2c_u / \gamma * (1 + a / c_u)^{1/2} \text{ a pro } z < h_c \text{ je } \sigma_a = 0;$$

b) normálně konsolidované soudržné zeminy charakterizované $\varphi_{ef} \neq 0$, $c_{ef} \neq 0$, kde napětí při aktivním zemním tlaku lze vypočítat ze vztahu:

$$\sigma_a = \gamma * z * K_a - 2c_{ef} * (K_a)^{1/2}$$

Vzorec platí pro $z > h_c$, kde:

$$h_c = 2c_{ef} / \gamma * (1 / K_a)^{1/2}$$

pro $z < h_c$ je $\sigma_a = 0$;

c) překonsolidované soudržné zeminy, jež při poklesu napjatosti ztrácejí svoji smykovou pevnost; v tomto případě je třeba postupovat individuálně – vesměs podle b) s příslušně redukovanými smykovými parametry φ_{ef} , c_{ef} .

Zemní tlak pasivní S_p

Pasivní tlak zeminy vzniká v případě, kdy je konstrukce zatlačována silou směrem do zeminy a má tedy ji tendenci stlačovat. Pasivní zemní tlak dosáhne své maximální hodnoty při plně mobilizované smykové pevnosti (mezní stav rovnováhy) a zároveň se jedná o maximální možný tlak, který je zemina schopna vytvořit. Je ale třeba větších pohybů (pootočení či přetvoření, posunů) pažící konstrukce pro navození zmíněného stavu, jednotky její výšky (cca 0,4%). Hodnoty S_p jsou proto vyšší než S_r i S_a , ve výpočtech je tento tlak reprezentován součinitelem K_p . [6] Nárůst či pokles velikosti zemního tlaku z klidového stavu probíhá plynule, nikoli skokově. Mezi stavem plné mobilizace smykové pevnosti a klidovým stavem se nachází dvě oblasti (záleží na pohybu konstrukce) - oblast sníženého pasivního tlaku

a oblast zvýšeného aktivního tlaku. Snížený pasivní tlak a zvýšený aktivní tlak se nacházejí ve výpočtech pažicích konstrukcí pro omezení deformací v okolí stavby. [1]

Pro nesoudržné zeminy [9]

Napětí při pasivním zemním tlaku nesoudržných zeminy v hloubce z , lze vypočítat:

$$\sigma_p = \sigma_z * K_p * \psi$$

Výslednice pasivního zemního tlaku je pak dána:

$$S_p = \frac{1}{2} \gamma * h^2 * K_p * \psi$$

Pro soudržné zeminy [9]

V případě suchých, nebo částečně nasycených soudržných zemin, jejichž smyková pevnost je dána efektivními parametry, lze napětí při pasivním zemním tlaku spočítat ze vztahu:

$$\sigma_p = \sigma_z * K_p * \psi + 2c_{ef} * (K_p * \psi)^{1/2}$$

a výslednice pasivního zemního tlaku bude:

$$\sigma_p = \frac{1}{2} \gamma * h^2 * (K_p * \psi)^{1/2} + 2c_{ef} * h * (K_p * \psi)^{1/2}$$

4.2 Podzemní voda

Na pažici konstrukce se projevují účinky podzemní vody a to změnou geotechnických vlastností základové půdy, hydrostatickým tlakem a proudovým tlakem. Nejvíce je ovlivněna objemová tíha základové půdy a v případě soudržných zemin může mít vliv na velikost smykové pevnosti. [9]

Objemová tíha propustných (zejména hrubozrnných) zemin pod vodou je dána vztahem:

$$\gamma_{su} = (1 - n) * (\gamma_s - \gamma_w)$$

Objemová tíha málo propustných zemin nasycených vodou (zejména jemnozrnných) je dána:

$$\gamma_{sat} = (1 - n) * \gamma_s + S_r * n * \gamma_w$$

Hydrostatický tlak se počítá jak v případě propustných, tak i nepropustných zemin, protože nelze vyloučit vznik příslušného vodního sloupce za rubem stěny. Je-li pata stěny vetknuta do nepropustného nebo málo propustného prostředí (s koeficientem filtrace $k < 10^{-7}$ až 10^{-8} ms⁻¹), předpokládá se, že podzemní voda pod patou pažicí konstrukce neproudí a vzniká pouze hydrostatický tlak s napětím:

$$\sigma_w = \gamma_w * h_w$$

jež působí kolmo na rub pažicí konstrukce s výslednicí:

$$S_{w1} = \frac{1}{2} \gamma_w * h_w^2$$

Pokud je pažící konstrukce až pode dnem výkopu rovněž ve zvodnělé základové půdě, bude se výsledný zatěžovací obrazec skládat ze dvou částí – horní trojúhelníkové a spodní obdélníkové, jak vyplývá z Obr. 8a , podle vztahu:

$$S_{w2} = \gamma_w * h_w * d_{pr}$$

V případě pažící konstrukce vetknuté do propustné základové půdy vzniká pod patou proudění, které ovlivňuje velikost hydrostatického tlaku, tak i je příčinou vzniku tzv. proudového tlaku. V důsledku ztrát vzniklých prouděním podzemní vody v okolí paty pažící konstrukce předpokládáme, že napětí při hydrostatickém tlaku klesá k nule Obr. 8b:, tudíž:

$$S_{w2} = 1/2 \gamma_w * h_w * d$$

Proudový tlak podle vztahu:

$$j = \gamma_w * i$$

i - hydraulický spád, jenž je bezrozměrný, tudíž platí, že $|j| = \text{kNm}^{-3}$, tedy proudový tlak má fyzikální rozměr objemové tíhy a působí tedy na objemovou tíhu základové půdy podél pažící konstrukce.

Na rubové straně konstrukce proudí voda směrem dolů, tudíž zvyšuje objemovou tíhu zeminy podle vztahu:

$$\gamma_{ef,a} = \gamma_{su} + \gamma_w * i$$

na lící straně proudí voda vzhůru, tudíž snižuje objemovou tíhu zeminy:

$$\gamma_{ef,p} = \gamma_{su} - \gamma_w * i$$

Aplikujeme-li tyto vztahy na příklad znázorněný na Obr. 8b, získáme:

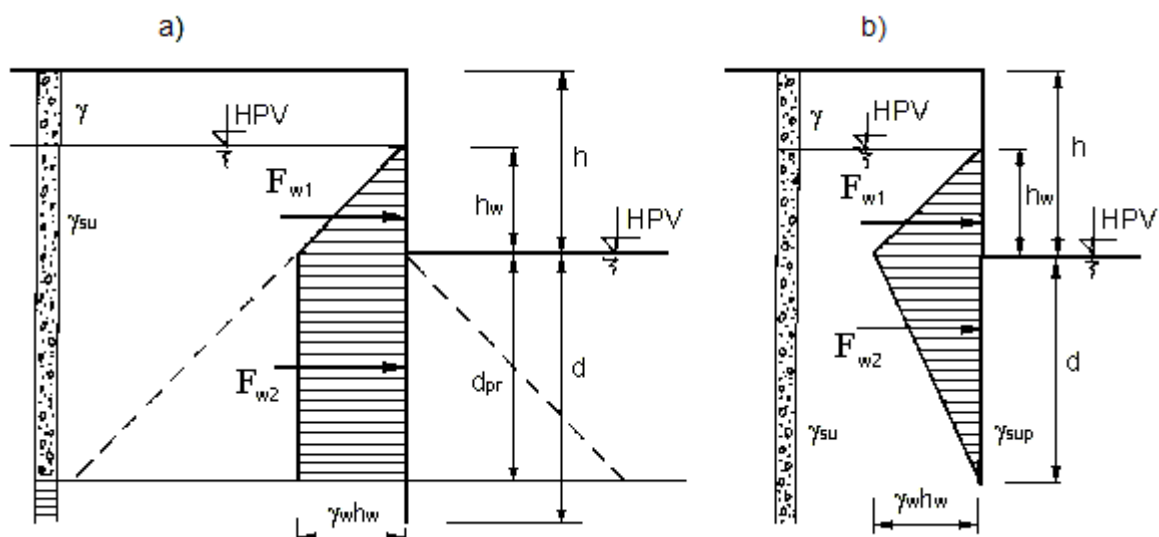
$$\gamma_{ef,a} = \gamma_{su} + \gamma_w * h_w / (h_w + 2d)$$

$$\gamma_{ef,p} = \gamma_{su} - \gamma_w * h_w / (h_w + 2d)$$

Je zřejmé, že při dostatečně velkém hydraulickém spádu i může dojít k vzniku „beztížného“ stavu v zemině, který se nazývá hydraulickým prolomením dna. Ten vzniká teoreticky při tzv. kritickém spádu:

$$i_{cr} = \gamma_{su} / \gamma_w = 1,0$$

Prakticky to ale znamená, že lze připustit podstatně menší velikost hydraulického spádu, a to v případě malých stavebních jam (zejména jímek) $_{max}i = 0,5$, v případě velmi hlubokých jímek a dlouhodobého proudění podzemní vody pak $_{max}i = 0,3 - 0,4$.



Obr. 8: Tlak podzemní vody na pažení: a – pata pažicí stěny je vetknuta do nepropustné zeminy, b – pata pažicí konstrukce se nachází v propustné zemině [9]

4.3 Zatížení vlnami

Výpočet tlaku vlny na stavební jímku

$$SWL = 1,30 \text{ m}$$

$$d = 8,3 \text{ m}$$

$$d' = 8,3 \text{ m}$$

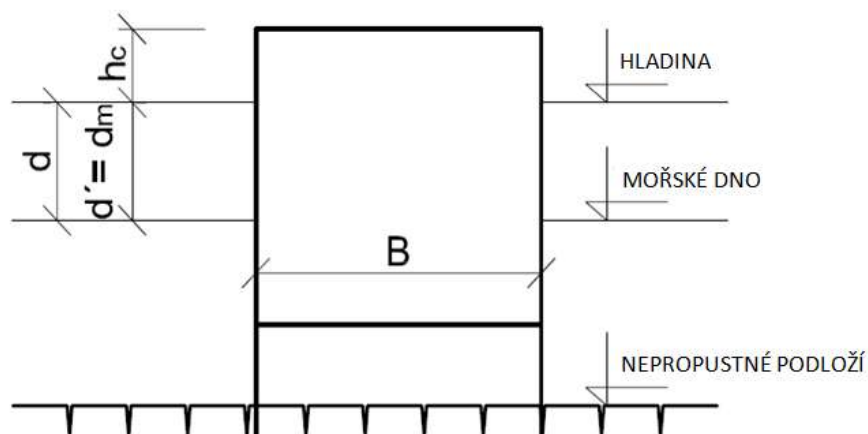
$$d_m = 8,3 \text{ m}$$

$$h_c = 1,6 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 10,25 \text{ kN/m}^3$$

$$H_{1/3} = 0,940 \text{ m}$$

$$T = 3,36 \text{ s}$$



Obr. 9: Schéma konstrukce

Návrh výšky vlny

$$H_D = 1,8 * H_{1/3} = 1,8 * 0,940 = 1,692$$

Hladina vody

$$d_b = d = 8,3 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 0,600$$

$$d/L = 8,3/17,53 = 0,47$$

$$\alpha_2 = 0,000$$

$$d_m/d_b = 8,3/8,3 = 1$$

$$\alpha_3 = 0,054$$

$$H_D/d_m = 1,692/8,3 = 0,2$$

$$\beta = 0,000^\circ$$

$$d'/d = 8,3/8,3 = 1$$

•

Výška na kterou působí

tlak vlny

$$\eta^* = 0,75 * (1 + (\cos(\beta * \pi/180))) * H_D = 0,75 * (1 + (\cos(0,000 * \pi/180))) * 1,692 = 2,538 \text{ m}$$

•

Tlak vlny na přední

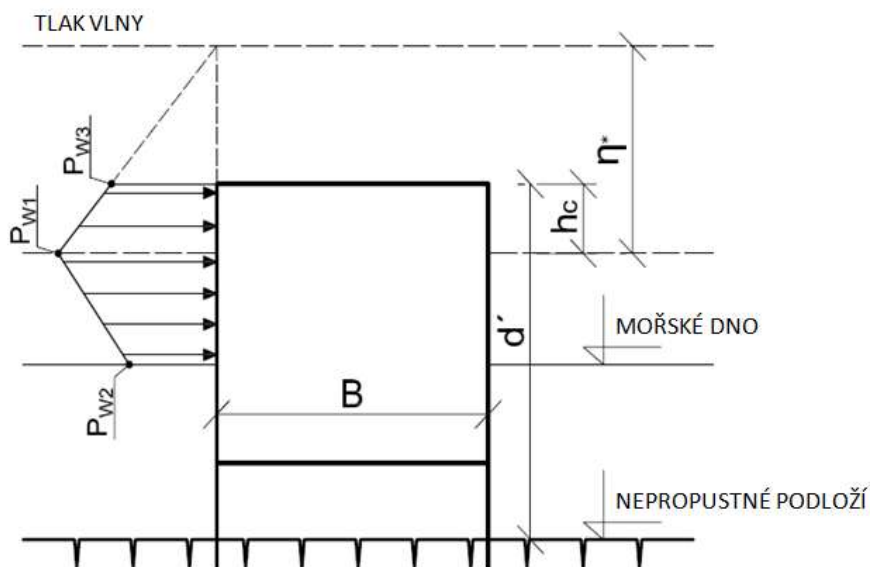
straně konstrukce

$$p_{w1} = (1/2) * (1 + \cos \beta) * (\alpha_1 + \alpha_2 * \cos \beta) * \gamma_w * H_D =$$

$$= (1/2) * (1 + \cos 0,000) * (0,6 + 0,000 * \cos 0,000) * 10,25 * 1,692 = 10,41 \text{ kPa}$$

$$p_{w2} = \alpha_3 * p_{w1} = 0,054 * 10,41 = 0,56 \text{ kPa}$$

$$p_{w3} = (p_{w1} * (\eta^* - h_c)) / \eta^* = (10,41 * (2,538 - 1,6)) / 2,538 = 3,85 \text{ kPa}$$



Obr. 10: Tlak vlny na konstrukci

5. Batymetrie

Je to věda zabývající se měřením hloubek oceánů, a však v posledních 100 letech se tato vědní disciplína používá také pro měření a mapování sladkovodních děl. Dále se využívá pro tvorbu map pro námořní lodě, nachází uplatnění v průmyslových odvětvích (např. hledání ropných polí, pokládání podmořských kabelů, při hledání vraků lodí či vyhledávání min).

Batymetrie je důležitá pro vytvoření přesných map rozložení hloubek vodních ploch a pro vytváření map jezer.

Po shrnutí výše uvedených informací, cílem batymetrie je stanovit kartograficky výškový rozdíl mezi hladinou a dnem vodní plochy. Výsledek měření je vyjádřen v podobě batymetrické mapy.

Batymetrická mapa - je mapa zobrazující hloubku dna moří, jezer nebo vodních toků pomocí kót, hloubnic, popř. jsou hloubkové vrstvy rozlišeny barevně.

Hloubnice (izobáta) - je linie, která v mapě či v terénu spojuje body se stejnou, předem určenou hloubkou od vodní hladiny. Hloubnice se též může označit jako údolnice pod vodní hladinou.

V České Republice se batymetrie zabývá měřením vodních toků a nádrží.



Obr. 11: Batymetrická mapa jezera Milada na území ČR [10]

Příklad měřicího přístroje v ČR

•

Přístroj SonTek River

Surveyor S5

- přístroj měří rychlost průtoku a profil dna řeky
- v přístroji je zabudován kompas a GPS modul s podporou RTK měření, naměřené data se exportují do mapových souborů
- vertikální čidlo na měření hloubek pracuje s přesností na 1 cm
- problém měření ve velice malé hloubce, v místech pohybu dnových sedimentů a v

místech výskytu řas



Obr. 12: Měření - přístroj SonTek River Surveyor S5 [11]

Používané systémy pro měření mořského dna

Beamformers

Měří vzdálenost pro každý nastavený úhel, detekuje tzv. vzdálenost od mořského dna v každém paprsku.

Interferometrs

Měří úhel pro každou nastavenou vzdálenost a měří úhel přicházejících zvukových vln po sobě jdoucích v časové posloupnosti vzorků.

Bathyswath interferometer

Standard multibeam



obr. 13.: Používané systémy pro měření mořského dna [12]

Oba tyto systémy měří vzdálenost a úhel mořského dna.

6. Stavba - návrh jímky v moři

Název stavba Shatin to Central Link C1121 - Cross Harbour Tunnel.

Jedná se o stavbu 1,8 km dlouhého podmořského tunelu metra ve městě Hong Kong. Celková délka sítě linek metra je 180 km, zahrnuje 84 stanic a 10 linek, předpokládaný průchod 4,5 milionů lidí za den.

V diplomové práci bude proveden výpočet stavební jímky v moři vybraného reprezentativního řezu A. Délka štětovicové jímky je 150 m. Hloubka cca 22,0 m. Reprezentativní řez je vybrán v místě, kde tunel vychází ze dna na povrch. Mění se zde technologie provádění z plaveného na hloubený. Jímka je v této části obklopena mořem. Bude sloužit pro spouštění stavebních strojů a technologické vybavení tunelu. Po dokončení výstavby tunelu bude stavební jímka použita pro spouštění lokomotiv a vagonů do prostoru tunel.



Obr. 14: Trasa metra ve městě Hong Kong

6.1 Vznik geologických standardů v Hong Kongu

Důležitou funkcí GEO je stanovení geotechnických norem. Od svého založení GEO vydal mnoho publikací, které pokrývají širokou škálu témat geotechniky. Obsáhlejší publikace se nazývají manuály, Geoguides a Geospecs (tabulka 1). Hlavním cílem zveřejňování těchto dokumentů je umožnit používání komplexních geotechnických norem, které jsou vhodné pro Hong Kongské podmínky. Tyto dokumenty se považují za doporučenou literaturu osvědčených postupů pro různé geotechnické činnosti.

GEO zveřejnila kromě již zmíněných standardů také technické metodické pokyny. Tyto technické metodické pokyny získala z výsledků hodnocení komplexnější literatury nebo z dosavadních výsledků výzkumů a studií.

Až do poloviny roku 2006, GEO vydala asi 300 publikací. Kompletní seznam GEO publikací je k dispozici na webových stránkách Cedd (www.cedd.gov.hk).

Postavení publikací

Vládní politika je taková, že podrobnosti o všech trvalých geotechnických pracích veřejných nebo soukromých projektů musí být předloženy GEO ke kontrole nebo schválení. Tato politika rovněž stanovuje, že související činnosti, včetně vyšetřování, vzorů a prací, musí být provedeny v souladu s platnými normami. Určité GEO dokumenty jsou vládou přijaty jako lokální geotechnické normy Hong Kongu.

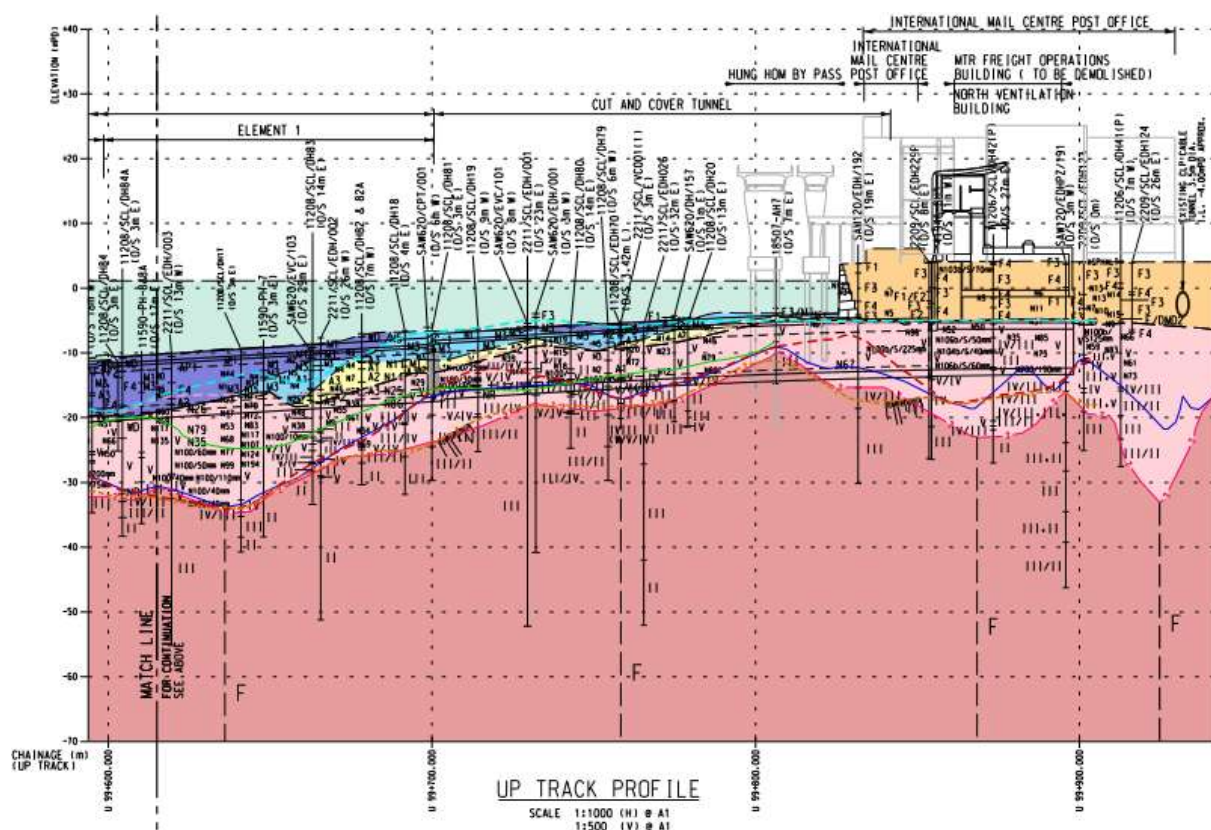
Proces vzniku dokumentu s pokyny

GEO připravuje nové standardy a pokyny podle potřeby. V procesu přípravy standardů nebo dokumentů se přihlíží k mezinárodním geotechnickým normám a přizpůsobuje je v Hong Kongu podle potřeby. Základem je, aby standardy a dokumenty vyhovovali místním podmínkám, zkušenostem a životnímu prostředí. Rozsáhlé konzultace mezi praktiky se provádí vždy v souladu s geotechnickými normami.

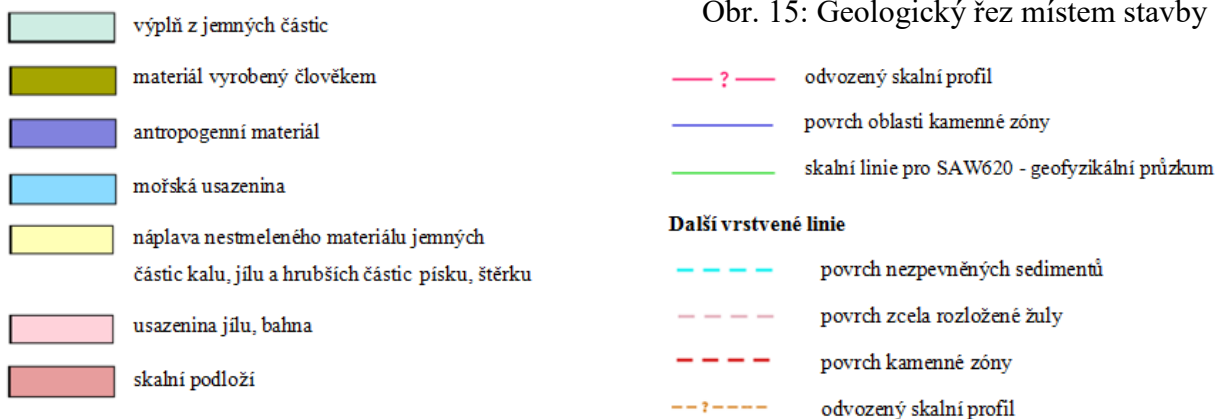
6.2 Geologie staveniště

Skutečné geologické podmínky se mohou značně lišit od interpretovaného geologického řezu. Proto interpretovaný řez pro návrh stavební jámky je pouze orientační. Pro podrobnější geologické informace jsou vypracovány příslušné zprávy a vypracované výkresy.

Ukázkový profil mořského dna je založen na výsledcích z batymetrického průzkumu, zhotoveného roku 2013.



Obr. 15: Geologický řez místem stavby



Vrstva jemných částic

F1	velmi jemný jíl nebo kal
F2	velmi tuhý jíl nebo kal
F3	písek
F4	štěrk, balvany
F	výplň z jemných částic
AP1	antropogenní materiál

Vrstva mořských usazenin

M1	velmi jemný jíl nebo kal
M2	velmi tuhý jíl nebo kal
M3	písek
M4	štěrk
MD	mořská usazenina

Náplavy z nestmeleného materiálu

A1	velmi jemný jíl nebo kal
A2	velmi tuhý jíl nebo kal
A3	písek
A4	štěrk
ALL	jemné částice jílu, kalu a hrubší částice písku, štěrku

Stupně rozkladu skály

VI	zbylá zemina
V	zcela rozložené
IV	vysoce rozložené

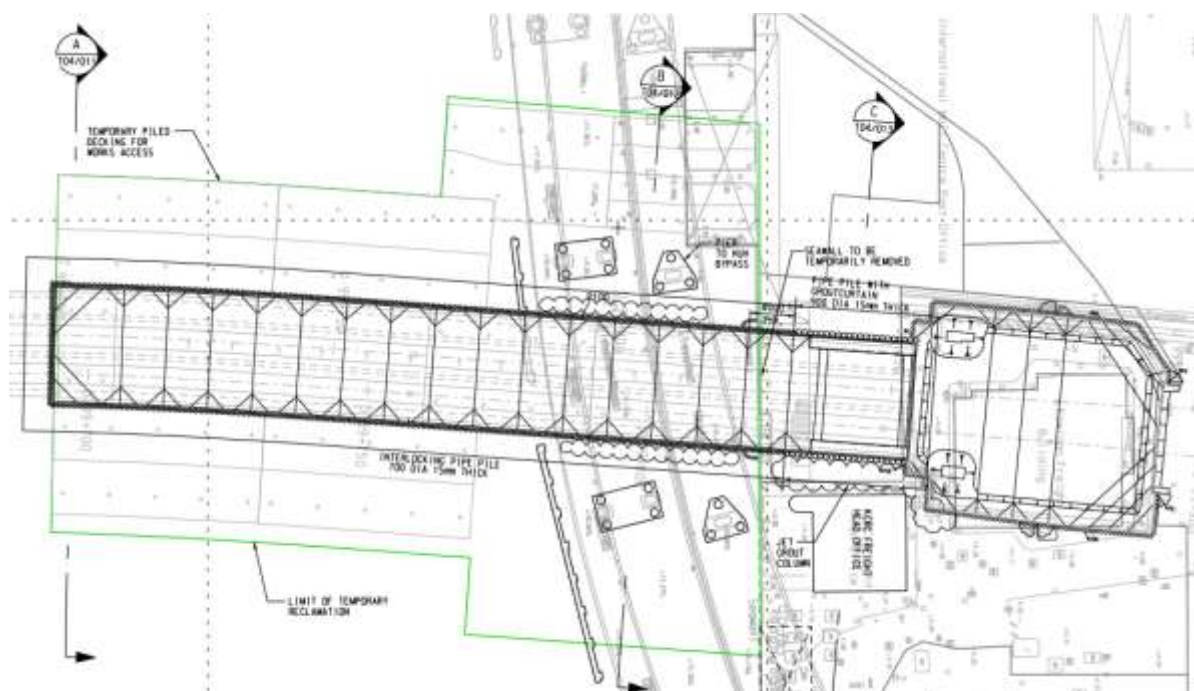
III mímě rozložené

II/I právě trochurozložené

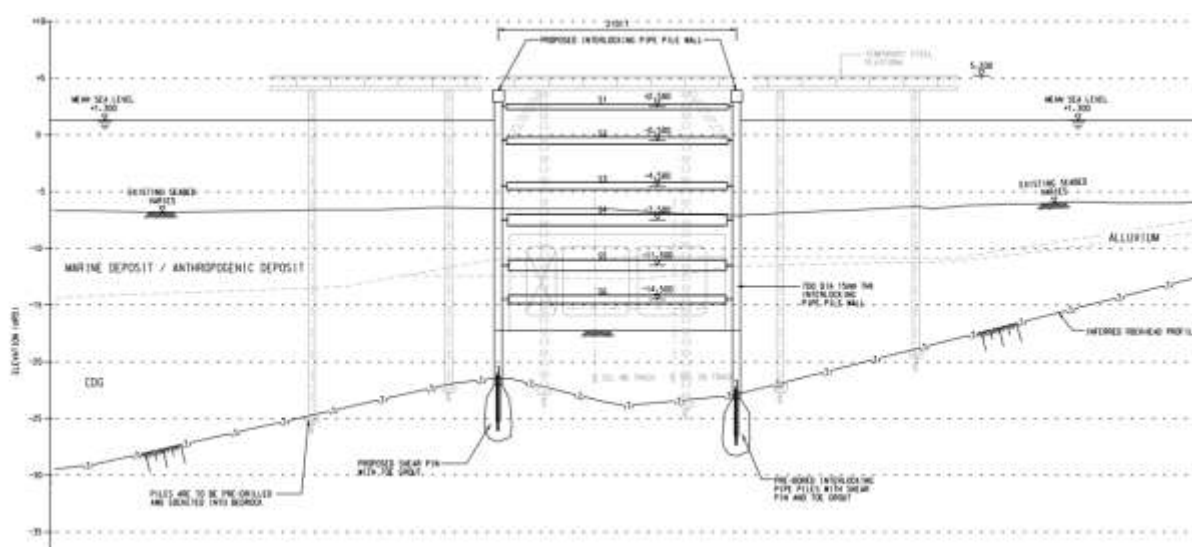
Základní půdní legendy pro CTP série

C1	velmi měkký jíl
C2	pevný, velmi tuhý jíl
Si1	velmi měkký kal
Si2	pevný, velmi tuhý kal
S1	velmi kyprý písek
S2	středně hustý, velmi hustý písek

6.3 Výpočet stavební jímky



Obr. 16: Půdorys stavební jímky s řezy A-A', B-B' a C-C'



Obr. 17: Řez jímky A-A'

6.3.1 Výstupy a výsledky ze softwaru Plaxis 2D a Frew

Software	Typ výpočtu	Factor	Poznámka
PLAXIS	ULS 01	1,4	Střední hladina vody
	ULS 02	1,4	S mořskou vlnou
	SLS 01	1,0	Střední hladina vody
	SLS 02	1,0	S mořskou vlnou
	ALS 01	1,0	Náhodná zatížení – ztráta úrovně vzpěry
	ALS 02	1,0	Náhodná zatížení - ztráta úrovně vzpěry
FREW	ULS	1,2	Střední hladina vody
	ALS 03	1,2	Citlivá analýza - skalnaté podloží (-1.5m)
	ALS 04	1,2	Citlivá analýza – parametry půdy byly sníženy (10%)

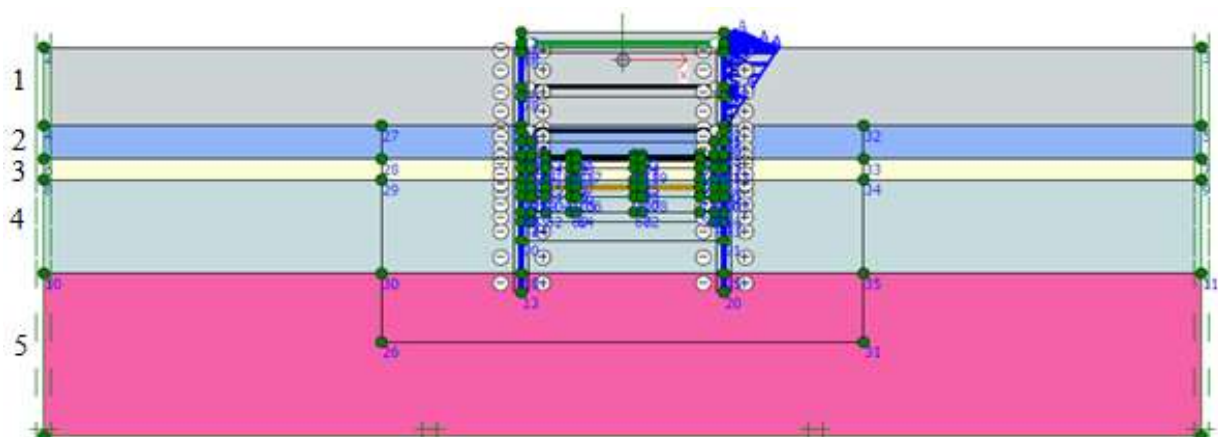
Tab. 2: Analýza rezu A-A softwarem Plaxis 2D a Frew

Profil Plaxis / Frew	Druh zeminy	Objemová hmotnost ρ (kg/m ³)	Efektivní soudržnost c (kPa)	Úhel vnitřního tření ϕ (°)
1 / 0	Výplň z jemných částic	1,90	0	35
2 / 1	Antropogenní materiál	1,60	-	-
	Mořská usazenina (kal,jíl)	1,60	0	30
3 / 2	Mořská usazenina (písek)	1,60	0	30
	Náplava nestmeleného materiálu (kal, jíl)	1,90	0	30
4 / 3	Náplava nestmeleného materiálu (písek)	2,00	0	33
5 / 4	Zcela rozložená žula	2,00	5	35

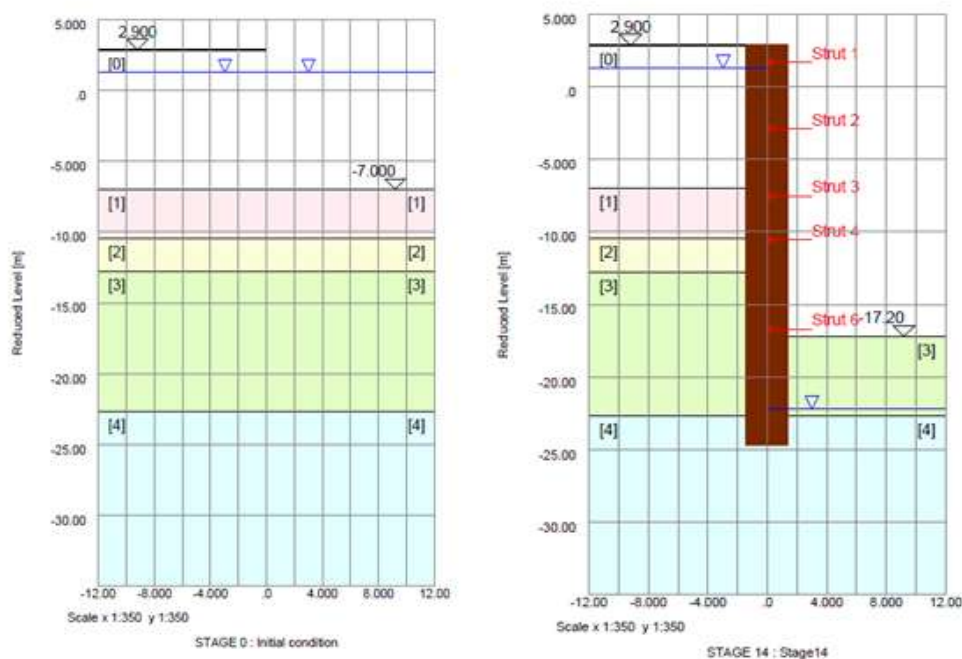
Tab. 3: Parametry zemín

Profil Plaxis / Frew	Druh zeminy	Modul pružnosti E (kPa)	Doplňková zkouška - penetrace	Propustnost k (m/s)
1 / 0	Výplň z jemných částic	7000	7	$5,0 \times 10^{-6}$
2 / 1	Antropogenní materiál	$E_{(\text{neodvodnělá})}=400 \times C_u$	-	-
	Mořská usazenina (kal,jíl)	$E_{(\text{neodvodnělá})}=400 \times C_u$	-	$1,0 \times 10^{-6}$
3 / 2	Mořská usazenina (písek)	6000	6	$5,0 \times 10^{-6}$
	Náplava nestmeleného materiálu (kal, jíl)	$E_{(\text{neodvodnělá})}=400 \times C_u$	-	$1,0 \times 10^{-9}$
4 / 3	Náplava nestmeleného materiálu (písek)	$E=1,0 \times \text{SPT}' N'$	$N=16$, když $D \leq 18\text{m}$, $N=2,417 D-27,51$; když $D > 18\text{m}$	$1,0 \times 10^{-6}$
5 / 4	Zcela rozložená žula	$E=f \times \text{SPT}' N'$	$N=25$, když $D \leq 18\text{m}$, $N=2,727 D-24,08$; když $D > 18\text{m}$	$4,0 \times 10^{-6}$

Tab. 4: Parametry zemín



Obr. 18 : Model štětové stěny a geologie v Plaxisu 2D s mořskou vlnou



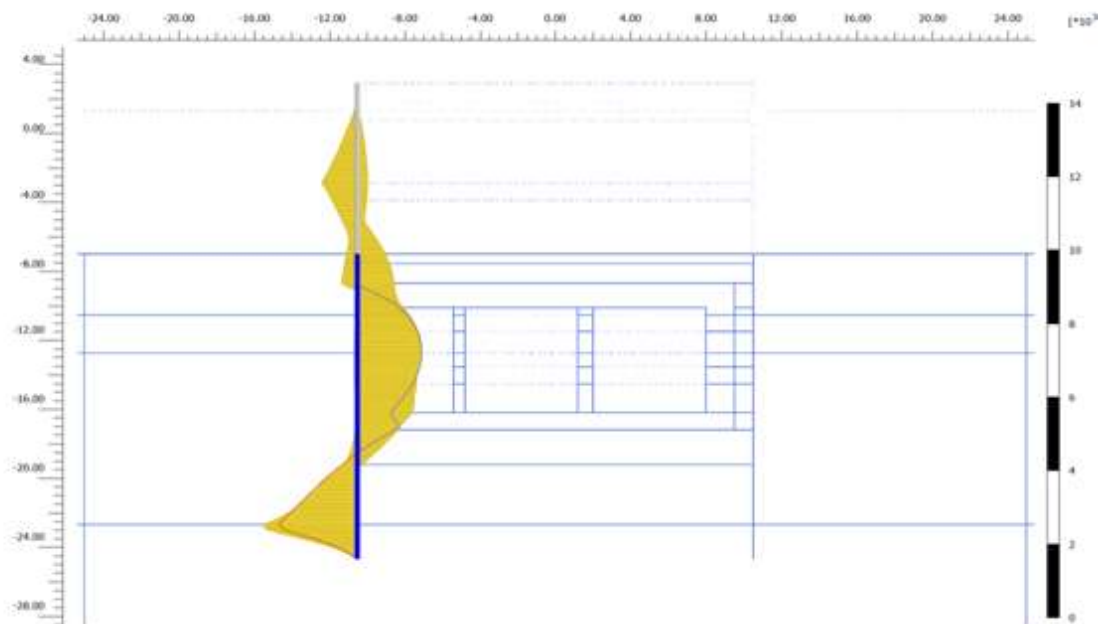
Obr. 19 :Model štětové stěny a geologie v programu Frew - počáteční a konečná fáze

V počáteční fázi jde vidět geologie místa stavby, geologie je zadána v programu Frew. V konečné fázi jde vidět již zaberaněná štětová stěna s umístěnými pěti rozpěrami, rozdílnost hladin po vyčerpání jímky a odstranění zeminy v jímce.

Očíslování fází	Popis fází	Poznámka
1,0	Počáteční stav - Kr postup	-
2,0	Trubka pilotové stěny instalace	-
3,0	Mořská vlna	Pouze pro PLAXIS (ULS02)
4,0	Odvodnění (-1.0m pod úrovní vzpěry no.01)	-
5,0	Instalace úrovně vzpěry no.01	-
6,0	Odvodnění (-1.0m pod úrovní vzpěry no.02)	-
7,0	Instalace úrovně vzpěry no.02	-
8,0	Vyhloubení (-1.0m pod vzpěrou no.3) + Odvodnění (-5.0m pod vzpěrou no.03)	-
9,0	Instalace úrovně vzpěry no.03	-
10,0	Vyhloubení (-1.0m pod vzpěrou no.4) + Odvodnění (-5.0m pod vzpěrou no.04)	-
11,0	Instalace úrovně vzpěry no.04	-
12,0	Vyhloubení (-1.0m pod vzpěrou no.5) + Odvodnění (-5.0m pod vzpěrou no.05)	-
13,0	Instalace úrovně vzpěry no.05	-
14,0	Vyhloubení – poslední úrovně, Odvodnění (- 5.0m below final level)	-
15,0	Instalace Tunelové základní desky + betonové výplně	-
16,0	Odstranění úrovně podpěry no.5	Pouze pro PLAXIS
17,0	Odstranění úrovně podpěry no.4	Pouze pro PLAXIS
18,0	Instalace tunelové stěny, střešní desky + betonové výplně	Pouze pro PLAXIS
19,0	Odstranění úrovně podpěry no.03	Pouze pro PLAXIS
20,0	Zásyp - nad Tunel střešní desky	Pouze pro PLAXIS
21,0	Odstranění úrovně podpěry no.02 + Voda	Pouze pro PLAXIS
22,0	Odstranění úrovně podpěry no.01 + Voda	Pouze pro PLAXIS

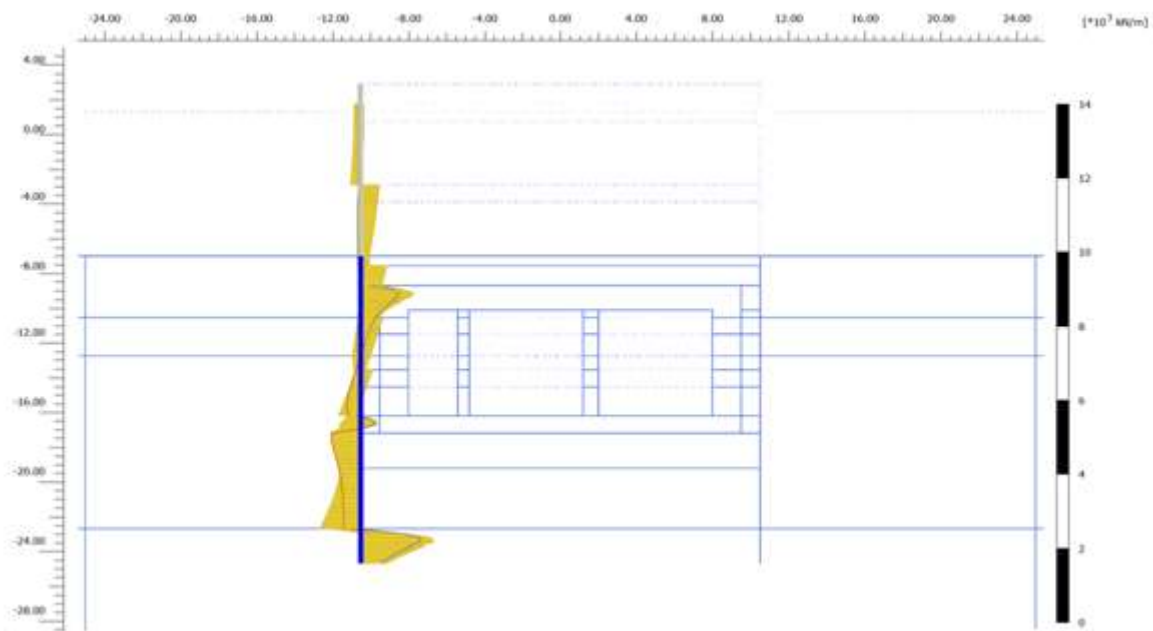
Tab. 5: Fáze výpočtu

Výsledky ULS 02 Plaxis 2D



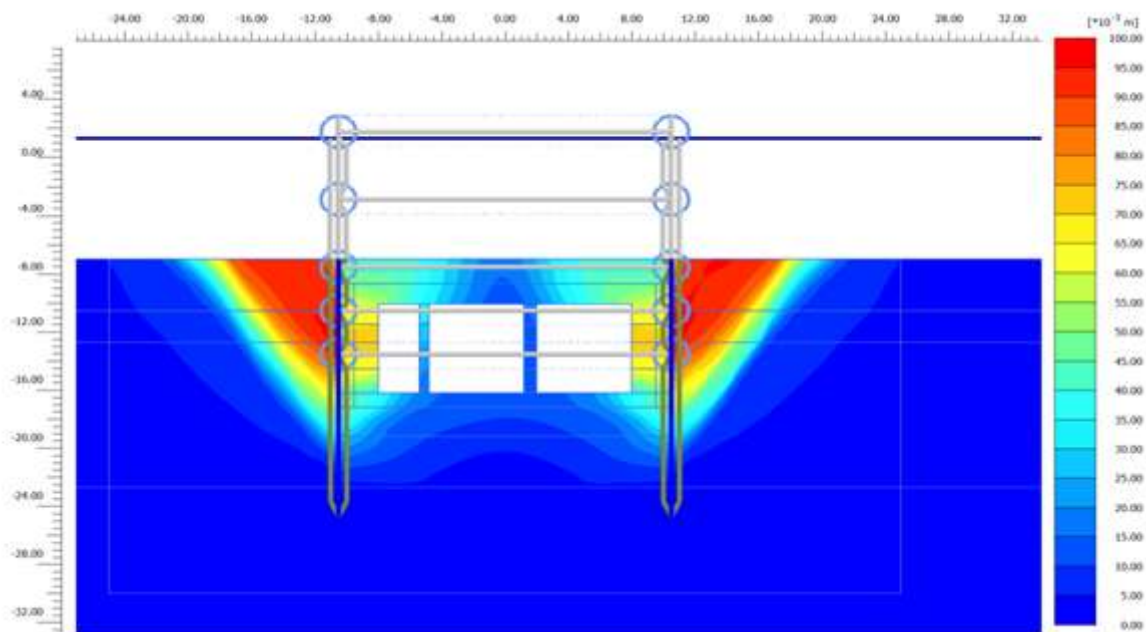
Obr. 20: Ohybové momenty pro mezní stav únosnosti

Maximální ohybový moment je $M_{\max} = 1712,00 \text{ kNm/m}$ (prvek 19 v uzlu 6332). Minimální ohybový moment je $M_{\min} = -2491,00 \text{ kNm/m}$ (prvek 29 v uzlu 2121).



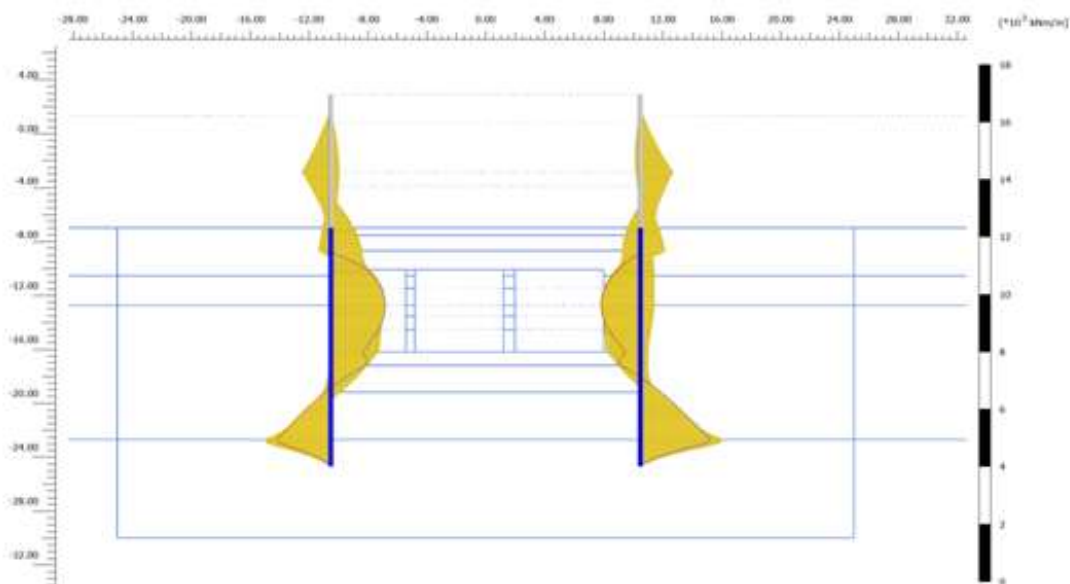
Obr. 21: Smykové síly pro mezní stav únosnosti

Maximální smyková síla je $Q_{\max} = 1928,00 \text{ kN/m}$ (prvek 29 v uzlu 2084). Minimální smyková síla je $Q_{\min} = -1077,00 \text{ kN/m}$ (prvek 28 v uzlu 2121).



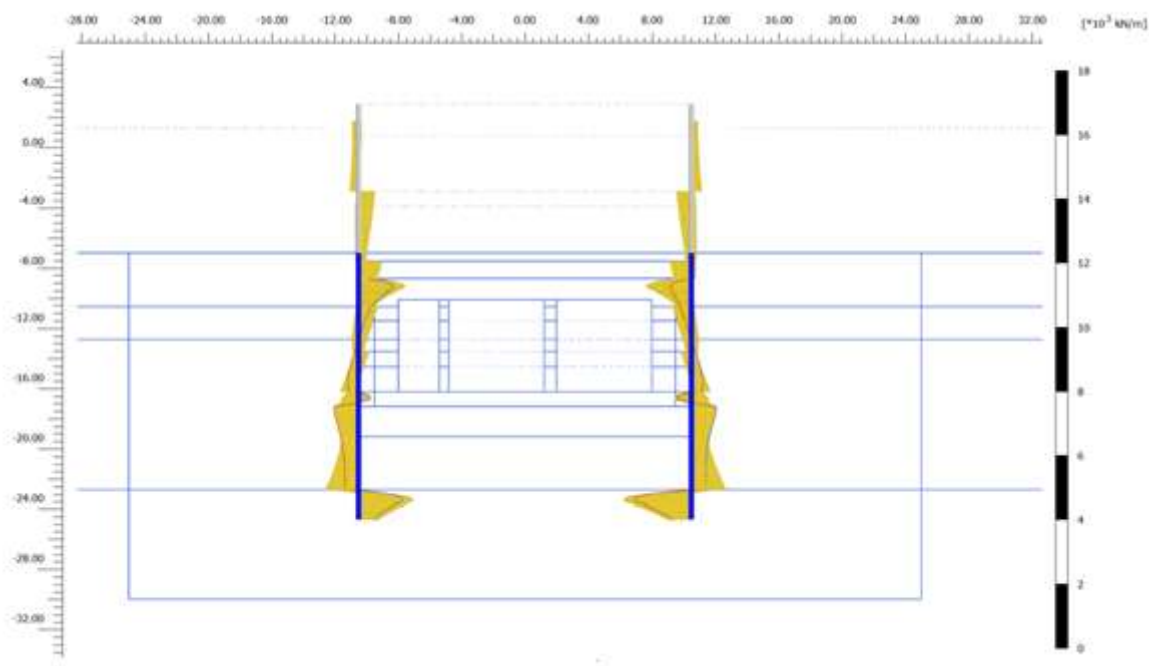
Obr. 22: Totální posun poslední fáze pro mezní stav únosnosti

K největším posunům dochází na pravé i levé straně straně z líců štětových stěn. Maximální totální posun je 0,09643 m (prvek 616 v uzlu 6329).



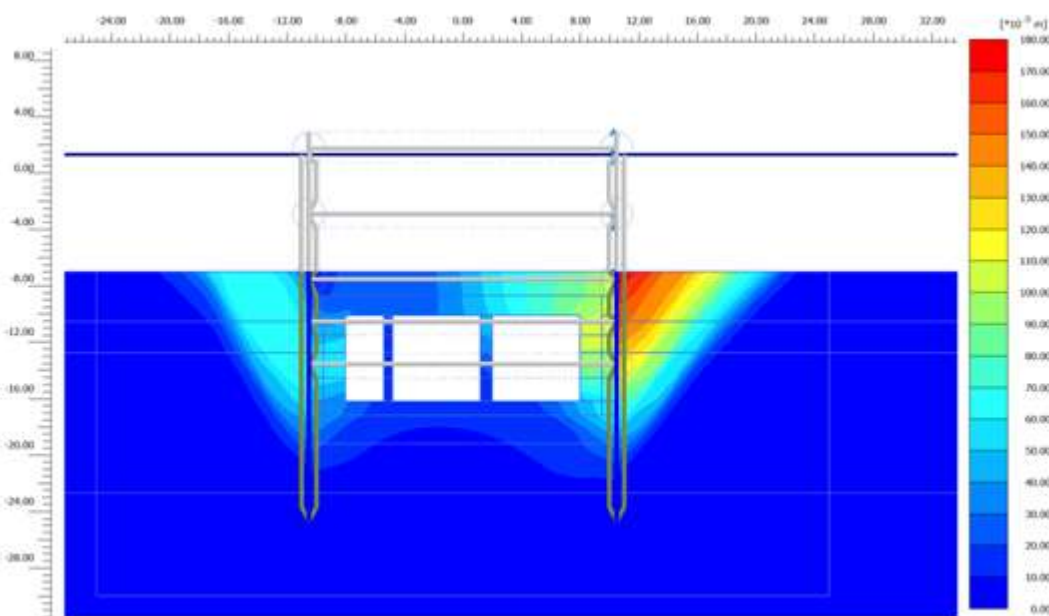
Obr. 23: Ohybové momenty pro mezní stav použitelnosti

Maximální ohybový moment je $M_{\max} = 2791,00 \text{ kNm/m}$ (prvek 58 v uzlu 5456). Minimální ohybový moment je $M_{\min} = -2214,00 \text{ kNm/m}$ (prvek 28 v uzlu 2121).



Obr. 24: Smykové síly pro mezní stav použitelnosti

Maximální smyková síla je $Q_{\max} = 1723,00 \text{ kN/m}$ (prvek 29 v uzlu 2784). Minimální smyková síla je $Q_{\min} = -2145,00 \text{ kN/m}$ (prvek 59 v uzlu 5457).



Obr. 25: Totální posun poslední fáze pro mezní stav použitelnosti

K největším posunům dochází na pravé straně z lícu štětové stěny. Maximální totální posun je $0,1744 \text{ m}$ (prvek 1991 v uzlu 14964).

		Plaxis			Plaxis			Plaxis		
		ULS01			ULS02			ALS01 or ALS02		
		M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)	M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)	M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)
Štětová stěna	M _{max}	3069	1318	1334	3439	1300	1148	3078	1323	369
	M _{max}	3069	1318	1334	3439	1300	1148	3078	1323	369
		FREW			FREW			FREW		
		ULS01			ALS03			ALS04		
		M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)	M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)	M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)
Štětová stěna	M _{max}	1611	272	-	1743	268	-	1609	286	-
	M _{max}	1611	272	-	1743	268	-	1609	286	-

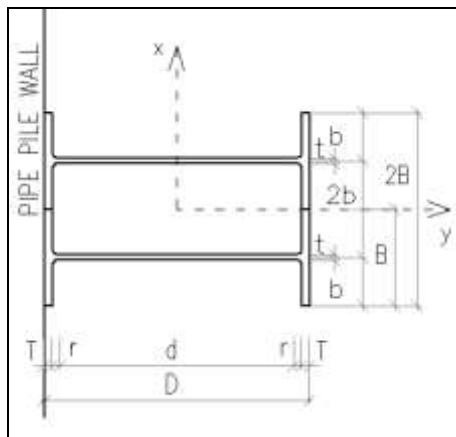
Tab. 6: Tabulka sil vypočtených programem Plaxis a Frew

	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	FREW	FREW	FREW
	ULS01	ULS02	ALS01	ALS02	ULS	ALS03	ALS04
	f _{Ed} (kN/m)	f _{Ed} (kN/m)	f _{Ed} (kN/m)	f _{Ed} (kN/m)	f _{Ed} (kN/m)	f _{Ed} (kN/m)	f _{Ed} (kN/m)
Vzpěra 1	121,0	123,0	170,0	160,0	176,0	182,0	177,0
Vzpěra 2	1008,0	1038,0	720,0	720,0	373,0	387,0	359,0
Vzpěra 3	980,0	1027,0	270,0	535,0	898,0	959,0	974,0
Vzpěra 4	953,0	969,0	844,0	552,0	810,0	850,0	940,0
Vzpěra 5	441,0	444,0	315,0	569,0	419,0	436,0	550,0

Tab. 7: Tabulka sil vypočtených programem Plaxis a Frew

6.3.2 Návrh a posouzení vzpěr - průřez válcovaný UB profil

Průřez 2 x UB 533 x 210 x 109 - rozpěra č. 1



Obr. 26: Schéma průřezu ocelové vzpěry

- Průřezové charakteristiky**

$$D = 0,5395 \text{ m}$$

$$B = 0,2108 \text{ m}$$

$$t = 0,0116 \text{ m}$$

$$T = 0,0188 \text{ m}$$

$$r = 0,0127 \text{ m}$$

$$b = B/2 = 0,2108/2 = \underline{0,1054 \text{ m}}$$

$$2B = 2*B = 2 * 0,2108 = \underline{0,4216 \text{ m}}$$

$$d = D - (2*T) - (2*r) = 0,5395 - (2* 0,0188) - (2*0,0127) = \underline{0,4765 \text{ m}}$$

$$A = 2*138,9/10\,000 = \underline{0,0278 \text{ m}^2}$$

$$A_V = 2*D*t = 2*0,5395*0,0116 = \underline{0,0125 \text{ m}^2}$$

$$I_X = ((1/12)*B*D^3 - (1/6)*((b-t/2)*(D-2*T)^3))*2 = ((1/12)*0,2108*0,5395^3 - (1/6)*((0,1054 - 0,0116/2)*(0,5395-2*0,0188)^3))*2 = \underline{0,0013 \text{ m}^4}$$

$$Z_X = I_X/(D/2) = 0,0013/(0,5395/2) = \underline{0,0049 \text{ m}^3}$$

$$S_X = (((D - (2*T))^2*t/4) + (B*T*(D-T))) * 2 =$$

$$= (((0,5395 - (2*0,0188))^2*0,0116/4) + (0,2108*0,0188*(0,5395-0,0188))) * 2 = \underline{0,0056 \text{ m}^3}$$

$$S_{X,V} = 2*(t*D*D/4) = 2*(0,0116*0,5395*0,5395/4) = \underline{0,0017 \text{ m}^3}$$

$$S_{X,\text{eff}} = - \text{m}^3$$

$$i_x = \sqrt{I_X/A} = \sqrt{0,0013/ 0,0278} = \underline{0,2179 \text{ m}}$$

- Material**

Ocel S355

$$T = \max(t; T) \cdot 1000 = \max(0,0116; 0,0188) \cdot 1000 = 18,8 \text{ mm} \quad \underline{18,8 \text{ mm} < 40 \text{ mm}}$$

$$p_y = 345 \text{ MPa}$$

$$p_{yw} = 355 \text{ MPa}$$

- **Stojna bez klopení**

$$\varepsilon = \sqrt{(275 / p_y)} = \sqrt{(275/345)} = 0,89 \quad \text{koefficient závislosti na } f_y$$

$$d/t < 70 \cdot \varepsilon \quad 0,4765/0,0116 < 70 \cdot 0,89 \quad 41,1 < 62,5 \text{ OK} \rightarrow \text{stojna bez spony}$$

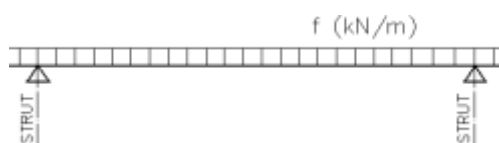
- **Zatížení**

kN/m	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	FREW	FREW	FREW
	ULS01	ULS02	ALS01	ALS02	ULS	ALS03	ALS04
f_d	121,0	123,0	170,0	160,0	176,0	182,0	177,0

Tab. 8: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

$$f_d = \max(121,0; 182,0) = 182,0 \text{ kN/m}$$

$$L = 8,0 \text{ m}$$



Obr. 27: Schéma zatížení

- **Ohybový moment**

$$M = 1/10 f_d \cdot L^2$$



Obr. 28: Schéma průběhu ohybových momentů

- **Smyková síla**

$$V = 1/2 f_d \cdot L$$



Obr. 29: Schéma průběhů smykových sil

- **Axiální komprese**

$$F_c = f_d \cdot 21/6$$



Obr. 30: Schéma axiální komprese

- **Návrh sil**

$$M = (1/10) \cdot f_d \cdot L^2 = (1/10) \cdot 182,0 \cdot 8^2 = \underline{1164,8 \text{ kNm}}$$

$$V = (1/2) \cdot f_d \cdot L = (1/2) \cdot 182 \cdot 8 = \underline{728,0 \text{ kN}}$$

$$F_c = f_d \cdot (21/6) = 182 \cdot (21/6) = \underline{637 \text{ kN}}$$

- **Třída průřezu**

stojna:

$$r_1 = (F_c/2) / (d \cdot t \cdot p_{yw}) = (637/2) / (0,4765 \cdot 0,0116 \cdot 355) = 162,3/1000 = 0,162$$

$$(d/t) < (80 \cdot \epsilon) / (1 + r_1)$$

$$d/t = 0,4756/0,0116 = 41,08$$

$$80 \cdot \epsilon / (1 + r_1) = 80 \cdot 0,89 / (1 + 0,162) = 61$$

$$\underline{41,08 < 61 \rightarrow \text{třída 1}}$$

pásnice:

$$b/T < 9 \cdot \epsilon$$

$$b/T = 0,1054 / 0,0188 = 5,606$$

$$9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 0,89 = 8,04$$

$$\underline{5,606 < 8,04 \rightarrow \text{třída 1}}$$

celkový průřez \rightarrow třída 1

- **Smyk**

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} > V$$

$$V < 0,6 \cdot V_c$$

nízký smyk

$$\rho = 0$$

$$V > 0,6 \cdot V_c$$

vysoký smyk

$$\rho = ((2 \cdot V / V_c) - 1)^2$$

$$0 < \rho < 1$$

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} = (345 \cdot 0,0125) / \sqrt{3} = 2493,1 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot V_c = 0,6 \cdot 2493,1 = 1495,9 \text{ kN}$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad 728,00 \text{ kN} < 2493,1 \text{ kN} \rightarrow \text{splněna podmínka nízkého smyku}$$

$$V_c > V$$

$$\underline{2493,1 \text{ kN} > 728,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 29,2\%}$$

- **Ohybový moment**

$$M_c = p_y \cdot (S - \rho \cdot S_v) < 1/2 \cdot p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 1,2}$$

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \text{ nebo } M_c = p_y \cdot (S_{\text{eff}} - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 3}$$

$$\rho = 0,0$$

$$M_c = p_y \cdot (S - \rho \cdot S_v) = 345 \cdot (0,00561) = \underline{1927,9 \text{ kNm}}$$

$$M_c > M$$

$$1927,9 \text{ kNm} > 1164,8 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 60,4\%$$

- **Průřezové kapacity**

$$(F_c / A \cdot p_y) + (M / M_c) \leq 1$$

$$(637,0 / 0,0278 \cdot 345) + (1164,8 / 1927,9) \leq 1$$

$$0,066 + 0,604 = 0,671 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez 2 x UB 914 x 305 x 289 - rozpěra č. 2

Viz. Obr. 26: Schéma průřezu ocelové vzpěry

- **Průřezové charakteristiky**

$$D = 0,9266 \text{ m}$$

$$B = 0,3077 \text{ m}$$

$$t = 0,0195 \text{ m}$$

$$T = 0,032 \text{ m}$$

$$r = 0,0191 \text{ m}$$

$$b = B/2 = 0,3077/2 = \underline{0,1539 \text{ m}}$$

$$2B = 2 \cdot B = 2 \cdot 0,3077 = \underline{0,6154 \text{ m}}$$

$$d = D - (2 \cdot T) - (2 \cdot r) = 0,9266 - (2 \cdot 0,032) - (2 \cdot 0,0191) = \underline{0,8244 \text{ m}}$$

$$A = 2 \cdot 368,3 / 10000 = \underline{0,0737 \text{ m}^2}$$

$$A_V = 2 \cdot D \cdot t = 2 \cdot 0,9266 \cdot 0,0195 = \underline{0,0361 \text{ m}^2}$$

$$I_X = ((1/12) \cdot B \cdot D^3 - (1/6) \cdot ((b - t/2) \cdot (D - 2 \cdot T)^3)) \cdot 2 = ((1/12) \cdot 0,3077 \cdot 0,9266^3 - (1/6) \cdot ((0,1539 - 0,0195/2) \cdot (0,9266 - 2 \cdot 0,032)^3)) \cdot 2 = \underline{0,0100 \text{ m}^4}$$

$$Z_X = I_X / (D/2) = 0,0100 / (0,9266/2) = \underline{0,0215 \text{ m}^3}$$

$$S_X = (((D - (2 \cdot T))^2 \cdot t/4) + (B \cdot T \cdot (D - T))) \cdot 2 = (((0,9266 - (2 \cdot 0,032))^2 \cdot 0,0195/4) + (0,3077 \cdot 0,032 \cdot (0,9266 - 0,032))) \cdot 2 = \underline{0,0249 \text{ m}^3}$$

$$S_{X,V} = 2 \cdot (t \cdot D \cdot D/4) = 2 \cdot (0,0195 \cdot 0,9266 \cdot 0,9266/4) = \underline{0,0084 \text{ m}^3}$$

$$S_{X,\text{eff}} = - \text{ m}^3$$

$$i_x = \sqrt{I_X / A} = \sqrt{(0,0100 / 0,0737)} = \underline{0,3679 \text{ m}}$$

- **Material**

Ocel S355

$$T = \max(t; T) \cdot 1000 = \max(0,0195; 0,032) \cdot 1000 = 32 \text{ mm}$$

$$\underline{32 \text{ mm} < 40 \text{ mm}}$$

$$p_y = 345 \text{ MPa}$$

$$p_{yw} = 355 \text{ MPa}$$

-

Stojna bez klopení

$$\varepsilon = \sqrt{(275 / p_y)} = \sqrt{(275/345)} = 0,89 \quad \text{koeficient závislosti na } f_y$$

$$d/t < 70 \cdot \varepsilon \quad 0,8244/0,0195 < 70 \cdot 0,89 \quad 42,3 < 62,5 \quad \text{OK} \rightarrow \text{stojna bez spony}$$

- **Zatížení**

kN/m	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	FREW	FREW	FREW
	ULS01	ULS02	ALS01	ALS02	ULS	ALS03	ALS04
f_d	1008,0	1038,0	720,0	720,0	373,0	387,0	359,0

Tab. 9: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

$$f_d = \max(359,0; 1038,0) = 1038,0 \text{ kN/m}$$

$$L = 8,0 \text{ m}$$

Viz. Obr. 27: Schéma zatížení

- **Ohybový moment**

$$M = 1/10 f_d \cdot L^2$$

Viz. Obr. 28: Schéma průběhu ohybových momentů

- **Smyková síla**

$$V = 1/2 f_d \cdot L$$

Viz. Obr. 29: Schéma průběhů smykových sil

- **Axiální komprese**

$$F_c = f_d \cdot 21/6$$

Viz. Obr. 30: Schéma axiální komprese

- **Návrh sil**

$$M = (1/10) \cdot f_d \cdot L^2 = (1/10) \cdot 1038,0 \cdot 8^2 = \underline{6643,2 \text{ kNm}}$$

$$V = (1/2) \cdot f_d \cdot L = (1/2) \cdot 1038,0 \cdot 8 = \underline{4152,0 \text{ kNm}}$$

$$F_c = f_d \cdot (21/6) = 1038 \cdot (21/6) = \underline{3633,0 \text{ kNm}}$$

- **Třída průřezu**

stojna:

$$r_1 = (F_c/2)/(d \cdot t \cdot p_{yw}) = (3633/2)/(0,8244 \cdot 0,0195 \cdot 355) = 318,2/1000 = 0,318$$

$$(d/t) < 80 \cdot \varepsilon / (1 + r_1)$$

$$(d/t) = 0,8244/0,0195 = 42,28$$

$$80 \cdot \varepsilon / (1 + r_1) = 80 \cdot 0,89 / (1 + 0,318) = 54$$

$$42,28 < 54 \rightarrow \text{třída 1}$$

pásnice:

$$b/T < 9 \cdot \varepsilon$$

$$b/T = 0,1539 / 0,032 = 4,808$$

$$9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,89 = 8,04$$

$$4,808 < 8,04 \rightarrow \text{třída 1}$$

celkový průřez → třída 1

- **Smyk**

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} > V$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad \text{nizký smyk} \quad \rho = 0$$

$$V > 0,6 \cdot V_c \quad \text{vysoký smyk} \quad \rho = ((2 \cdot V / V_c) - 1) \\ 0 < \rho < 1 \rightarrow 0 < 0,865 < 1$$

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} = (345 \cdot 0,0361 \cdot 1000) / \sqrt{3} = 7198,1 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot V_c = 0,6 \cdot 7198,1 = 4318,8 \text{ kN}$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad 4152,0 \text{ kN} < 4318,8 \text{ kN} \rightarrow \text{splněna podmínka nízkého smyku}$$

$$V_c > V$$

$$7198,1 \text{ kN} > 4152,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 57,7\%$$

- **Ohybový moment**

$$M_c = p_y \cdot (S - \rho \cdot S_v) < 1/2 \cdot p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 1,2}$$

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \text{ nebo } M_c = p_y \cdot (S_{eff} - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 3}$$

$$\rho = 0,0$$

$$M_c = p_y \cdot (S - \rho \cdot S_v) = 345 \cdot (0,0215) = 8580,8 \text{ kNm}$$

$$M_c > M$$

$$8580,8 \text{ kNm} > 6643,2 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 77,4\%$$

- **Průřezové kapacity**

$$(F_c / A \cdot p_y) + (M / M_c) \leq 1$$

$$(3633,0/0,0737*345)+(6643,2/8580,8) \leq 1$$

$$0,143+0,774 = 0,917 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez 2 x UB 838 x 292 x 226 - rozpěra č. 5

Viz. Obr. 26: Schéma průřezu ocelové vzpěry

$$D = 0,8509 \text{ m}$$

$$B = 0,2938 \text{ m}$$

$$t = 0,0161 \text{ m}$$

$$T = 0,0268 \text{ m}$$

$$r = 0,0178 \text{ m}$$

$$b = B/2 = 0,2938/2 = \underline{0,1469 \text{ m}}$$

$$2B = 2*B = 2*0,2938 = \underline{0,5876 \text{ m}}$$

$$d = D - (2*T) - (2*r) = 0,8509 - (2*0,0268) - (2*0,0178) = \underline{0,7617 \text{ m}}$$

$$A = 2*288,6/10\,000 = \underline{0,0577 \text{ m}^2}$$

$$A_v = 2*D*t = 2*0,8509*0,0161 = \underline{0,0274 \text{ m}^2}$$

$$\begin{aligned} I_X &= ((1/12)*B*D^3 - (1/6)*((b-t/2)*(D-2*T)^3))*2 = \\ &= ((1/12)*0,2938*0,8509^3 - (1/6)*((0,1469-0,0161/2)*(0,8509-2*0,0268)^3))*2 = \underline{0,0067 \text{ m}^4} \end{aligned}$$

$$Z_X = I_X/(D/2) = 0,0067/(0,8509/2) = \underline{0,0158 \text{ m}^3}$$

$$\begin{aligned} S_X &= (((D - (2*T))^2*t/4) + (B*T*(D-T)))*2 = \\ &= (((0,8509 - (2*0,0268))^2*0,0161/4) + (0,2938*0,0268*(0,8509-0,0268)))*2 = \underline{0,0181 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$S_{X,v} = 2*(t*D*D/4) = 2*(0,0161*0,8509*0,8509/4) = \underline{0,0058 \text{ m}^3}$$

$$S_{X,eff} = - \text{m}^3$$

$$i_x = \sqrt{I_X/A} = \sqrt{0,0067/0,0577} = \underline{0,3409 \text{ m}}$$

• Materiál

Ocel S355

$$T = \max(t; T)*1000 = \max(0,0161; 0,0268)*1000 = 26,8 \text{ mm} \quad \underline{26,8 \text{ mm} < 40 \text{ mm}}$$

$$p_y = 345 \text{ MPa}$$

$$p_{yw} = 355 \text{ MPa}$$

- **Stojna bez klopení**

$$\varepsilon = \sqrt{(275/p_y)} = \sqrt{(275/345)} = 0,89 \quad \text{koeficient závislosti na } f_y$$

$$d/t < 70 * \varepsilon \quad 0,7617 / 0,0161 < 70 * 0,89 \quad 47,3 < 62,5 \quad \text{OK} \rightarrow \text{stojna bez spony}$$

- **Zatížení**

kN/m	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	FREW	FREW	FREW
	ULS01	ULS02	ALS01	ALS02	ULS	ALS03	ALS04
f_d	441,0	444,0	315,0	569,0	419,0	436,0	550,0

Tab. 10: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

$$f_d = \max(315,0; 569,0) = 569,0 \text{ kN/m}$$

$$L = 8,0 \text{ m}$$

Viz. Obr. 27: Schéma zatížení

- **Ohybový moment**

$$M = 1/10 f_d \cdot L^2$$

Viz. Obr. 28: Schéma průběhu ohybových momentů

- **Smyková síla**

$$V = 1/2 f_d \cdot L$$

Viz. Obr. 29: Schéma průběhů smykových sil

- **Axiální komprese**

$$F_c = f_d \cdot 21/6$$

Viz. Obr. 30: Schéma axiální komprese

- **Návrh sil**

$$M = (1/10) * f_d * L^2 = (1/10) * 569,0 * 8^2 = \underline{3641,6 \text{ kNm}}$$

$$V = (1/2) * f_d * L = (1/2) * 569,0 * 8 = \underline{2276,0 \text{ kNm}}$$

$$F_c = f_d * (21/6) = 569,0 * (21/6) = \underline{1991,5 \text{ kNm}}$$

- **Třída průřezu**

stojna:

$$r1 = (F_c/2) / (d * t * p_{yw}) = (1991,5/2) / (0,7617 * 0,0161 * 355) = 0,229$$

$$d/t < 80 * \varepsilon / (1 + r1)$$

$$d/t = 0,7617/0,0161 = 47,31$$

$$80 \cdot \varepsilon / (1 + r_1) = 80 \cdot 0,89 / (1 + 0,229) = 58$$

$$47,31 < 58 \rightarrow \text{třída 1}$$

pásnice:

$$b/T < 9 \cdot \varepsilon$$

$$b/T = 0,1469/0,0268 = 5,481$$

$$9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,89 = 8,04$$

$$5,481 < 8,04 \rightarrow \text{třída 1}$$

celkový průřez \rightarrow třída 1

• Smyk

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} > V$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad \text{nízký smyk} \quad \rho = 0$$

$$V > 0,6 \cdot V_c \quad \text{vysoký smyk} \quad \rho = ((2 \cdot V / V_c) - 1)^2$$

$$0 < \rho < 1 \rightarrow 0 < 0,865 < 1$$

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} = (345 \cdot 0,0577 \cdot 1000) / \sqrt{3} = 5457,5 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot V_c = 0,6 \cdot 5457,5 = 3274,5 \text{ kN}$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad 2276,0 \text{ kN} < 3274,5 \text{ kN} \rightarrow \text{splněna podmínka nízkého smyku}$$

$$V_c > V$$

$$5457,5 \text{ kN} > 2276,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 41,7\%$$

• Ohybový moment

$$M_c = p_y \cdot (S - \rho \cdot S_v) < 1/2 \cdot p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 1,2}$$

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \text{ nebo } M_c = p_y \cdot (S_{\text{eff}} - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 3}$$

$$\rho = 0,0$$

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) = 355 \cdot (0,0158 - 0 \cdot 0,0058 / 1,5) = 6242,8 \text{ kNm}$$

$$M_c > M$$

$$6242,8 \text{ kNm} > 3641,6 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 77,4\%$$

• Průřezové kapacity

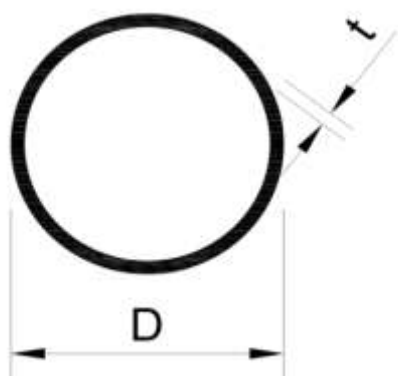
$$(F_c / A \cdot p_y) + (M / M_c) \leq 1$$

$$(1991,5 / 0,0577 \cdot 345) + (3641,6 / 6242,8) \leq 1$$

$$0,100 + 0,583 = 0,683 < 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.3.3 Návrh a posouzení vzpěr - průřez ocelová trouba

Průřez ocelové trubky 600/10 - rozpěra č. 1



Obr. 31: Schéma průřezu ocelové trubky

- Průřezové charakteristiky**

$$D = 0,600 \text{ m}$$

$$t = 0,010 \text{ m}$$

$$L = 19,92 \text{ m}$$

$$g = 145,0 \text{ kg/m}$$

$$A = (\pi/4) * ((D)^2 - ((D - (2*t))^2)) = (\pi/4) * ((0,600)^2 - ((0,600 - (2*0,010))^2)) = \\ = 0,7854 * 0,0236 = \underline{0,0185 \text{ m}^2}$$

$$A_V = 0,6 * A = 0,6 * 0,0185 = \underline{0,0111 \text{ m}^2}$$

$$I_Y = (\pi/64) * ((D)^4 - ((D - (2*t))^4)) = (\pi/64) * ((0,600)^4 - ((0,600 - (2*0,010))^4)) = \\ = 0,0491 * 0,0164 = \underline{0,0008 \text{ m}^4}$$

$$Z = I_Y / (D/2) = 0,0008 / (0,600/2) = \underline{0,0027 \text{ m}^3}$$

$$S = (1/6) * ((D)^3 - ((D - (2*t))^3)) = (1/6) * ((0,600)^3 - ((0,600 - (2*0,010))^3)) = \\ = 0,1667 * 0,0209 = \underline{0,0201 \text{ m}^3}$$

$$S_V = ((A_V/2) * ((D/2) - ((D^3)/12) - ((D - (2*t))^3/12)) / (A/2)) * 2 = \\ = ((0,0185/2) * ((0,6/2) - ((0,6^3)/12) - ((0,6 - (2*0,010))^3/12)) / (0,0185/2)) * 2 = \underline{0,0012 \text{ m}^3}$$

$$S_{\text{eff}} = Z + 1,4 * (\sqrt{(140/(D/t) * \epsilon - 1)}) * (S - Z) = \\ = 0,0027 + 1,4 * (\sqrt{(140/(0,600/0,010) * 0,88 - 1)}) * (0,0035 - 0,0027) = \underline{0,0031 \text{ m}^3}$$

$$i = \sqrt{(I_v/A)} = \sqrt{(0,0008/0,0185)} = \underline{0,2086 \text{ m}}$$

$$\beta = 1$$

$$L_{cr} = L * \beta = 19,92 * 1 = \underline{19,92 \text{ m}}$$

- **Materiál**

ocel S355

$$t = 0,010 * 1000 = 10 \text{ mm}$$

$$t < 16 \text{ mm}$$

$$\underline{10 \text{ mm} < 16 \text{ mm}}$$

$$p_y = 355 \text{ MPa}$$

- **Klasifikace sekcí zatřídění**

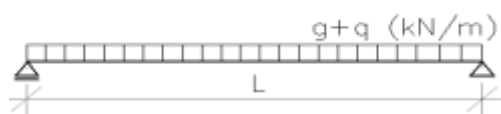
$$\varepsilon = \sqrt{(275/p_y)} = \sqrt{(275/355)} = \underline{0,88}$$

$$D/t < 140 * \varepsilon^2 \quad 0,600/0,010 < 140 * 0,88^2 \quad 60,0 < 108,5 \rightarrow \underline{3 \text{ třída}}$$

- **Zatížení**

	Charkteristická hodnota zatížení f_k (kN/m)	faktor	Návrhová hodnota zatížení f_d (kN/m)
Stálé tížení	3,85	1,4	2,030
Nahodilé zatížení	5,00	1,2	6,000

Tab. 11: Tabulka zatížení



Obr. 32: Schéma zatížení

- **Smyková síla**

$$V = 1/2 * f_d * L$$



Obr. 33: Schéma průběhu smykových sil

- **Ohybový moment**

$$M = 1/8 * f_d * L^2$$



Obr. 34: Schéma průběhu ohybových momentů

- **Axiální komprese**

kN/m	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	FREW	FREW	FREW
	ULS01	ULS02	ALS01	ALS02	ULS	ALS03	ALS04
f_d	121,0	123,0	170,0	160,0	176,0	182,0	177,0

Tab. 12: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew



Obr. 35: Schéma průběhu axiálních kompresí

- Návrh sil**

$$M = (1/8) * (\text{zatížení}) * L^2 = (1/8) * (2,030 + 6,000) * 19,92^2 = 398,3 \text{ kNm}$$

$$V = (1/2) * (\text{zatížení}) * L = (1/2) * (2,030 + 6,000) * 19,92 = 80,0 \text{ kN}$$

$$F_c = f_d * a = 182,0 * 8,0 = 1456,0 \text{ kN}$$

- Pevnost v tlaku**

$$P_c = A * p_c > F_c$$

$$\lambda = L_{cr}/i = 19,92/0,2086 = 95,5$$

$$p_c = 150 \text{ MPa}$$

$$P_c = A * p_c * 1000 = 0,0185 * 150,0 * 1000 = 2780,3 \text{ kN}$$

$$P_c > F_c \quad \underline{2780,3 \text{ kN} > 1456,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 52,4\%}$$

- Smyk - posouzení na střih**

$$V_c = (p_y * A_v) / \sqrt{3} > V$$

$$V < 0,6 * V_c \quad \underline{\text{nizký smyk}} \quad \underline{\rho = 0}$$

$$V > 0,6 * V_c \quad \text{vysoký smyk} \quad \rho = ((2 * V / V_c) - 1)^2$$

$$0 < \rho < 1 \rightarrow 0 < 0,865 < 1$$

$$V_c = (p_y * A_v) / \sqrt{3} = (355 * 0,0111) / \sqrt{3} = 2279,4 \text{ kN}$$

$$0,6 * V_c = 0,6 * 2279,4 = 1367,6 \text{ kN}$$

$$V < 0,6 * V_c \quad 80,0 \text{ kN} < 2279,4 \text{ kN} \rightarrow \text{splněna podmínka nízkého smyku}$$

$$V_c > V$$

$$\underline{2279,4 \text{ kN} > 80,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 3,5\%}$$

- Ohybový moment**

$$M_c = p_y * (S - \rho * S_v) < 1/2 * p_y * (Z - \rho * S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 1,2}$$

$$M_c = p_y * (Z - \rho * S_v / 1,5) \text{ nebo } M_c = p_y * (S_{eff} - \rho * S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 3}$$

$$\rho = 0,0$$

$$M_c = p_y * (Z - \rho * S_v / 1,5) = 355 * (0,0027 - 0 * 0,0012 / 1,5) = \underline{954,7 \text{ kNm}}$$

$$M_c > M$$

$$954,7 \text{ kNm} > 398,3 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 41,7\%$$

- **Průřezové kapacity**

$$F_c/P_c + M/M_c < 1$$

$$1456,0/2780,3 + 398,3/954,7 < 1$$

$$0,524 + 0,417 = 0,941 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průřez ocelové trouby 800/20 - rozpěra č. 2

Viz. Obr. 31: Schéma průřezu ocelové trubky

- **Průřezové charakteristiky**

$$D = 0,800 \text{ m}$$

$$t = 0,020 \text{ m}$$

$$L = 19,15 \text{ m}$$

$$g = 385,0 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} A &= (\pi/4) * ((D)^2 - ((D - (2*t))^2)) = \\ &= (\pi/4) * ((0,800)^2 - ((0,800 - (2*0,020))^2)) = 0,7854 * 0,0624 = \underline{0,0490 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$A_v = 0,6 * A = 0,6 * 0,0490 = \underline{0,0294 \text{ m}^2}$$

$$\begin{aligned} I_Y &= (\pi/64) * ((D)^4 - ((D - (2*t))^4)) = \\ &= (\pi/64) * ((0,800)^4 - ((0,800 - (2*0,020))^4)) = 0,0491 * 0,0760 = \underline{0,0037 \text{ m}^4} \end{aligned}$$

$$Z = I_Y / (D/2) = 0,0037 / (0,800/2) = \underline{0,0093 \text{ m}^3}$$

$$\begin{aligned} S &= (1/6) * ((D)^3 - ((D - (2*t))^3)) = \\ &= (1/6) * ((0,800)^3 - ((0,800 - (2*0,020))^3)) = 0,1667 * 0,0730 = \underline{0,0122 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_v &= ((A_v/2) * ((D/2) - ((D^3)/12) - ((D - (2*t))^3/12)) / (A/2)) * 2 = \\ &= ((0,0490/2) * ((0,8/2) - ((0,8^3)/12) - ((0,8 - (2*0,020))^3/12)) / (0,0490/2)) * 2 = \underline{0,0045 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{eff}} &= Z + 1,4 * (\sqrt{(140/(D/t) * \epsilon - 1)}) * (S - Z) = \\ &= 0,0093 + 1,4 * (\sqrt{(140/(0,800/0,020) * 0,89 - 1)}) * (0,0122 - 0,0093) = \underline{0,0121 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$i = \sqrt{(I_Y/A)} = \sqrt{(0,0037/0,0495)} = \underline{0,2759 \text{ m}}$$

$$\beta = 1$$

$$L_{cr} = L \cdot \beta = 19,15 \cdot 1 = \underline{19,15 \text{ m}}$$

- **Materiál**

ocel S355

$$t = 0,020 \cdot 1000 = 20 \text{ mm}$$

$$t < 40 \text{ mm}$$

$$\underline{20 \text{ mm} < 40 \text{ mm}}$$

$$p_y = 345 \text{ MPa}$$

-

Klasifikace sekcí zatřídění

$$\varepsilon = \sqrt{(275/p_y)} = \sqrt{(275/345)} = \underline{0,89}$$

$$D/t < 140 \cdot \varepsilon^2$$

$$0,800/0,020 < 140 \cdot 0,89^2$$

$$40,0 < 111,6 \rightarrow \underline{3 \text{ třída}}$$

- **Zatížení**

	Charakteristická hodnota zatížení f_k (kN/m)	faktor	Návrhová hodnota zatížení f_d (kN/m)
Stálé tížení	3,85	1,4	5,390
Nahodilé zatížení	5,00	1,2	6,000

Tab. 13: Tabulka zatížení

Viz. Obr. 32: Schéma zatížení

- **Smyková síla**

$$V = 1/2 \cdot f_d \cdot L$$

Viz. Obr. 33: Schéma průběhu smykových sil

- **Ohybový moment**

$$M = 1/8 \cdot f_d \cdot L^2$$

Viz. Obr. 34: Schéma průběhu ohybových momentů

- **Axiální komprese**

kN/m	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	FREW	FREW	FREW
	ULS01	ULS02	ALS01	ALS02	ULS	ALS03	ALS04
f_d	1008,0	1038,0	720,0	720,0	373,0	387,0	359,0

Tab. 14: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

Obr. 35: Schéma průběhu axiálních kompresí

- **Návrh sil**

$$M = (1/8) \cdot (\text{zatížení}) \cdot L^2 = (1/8) \cdot (5,392 + 6,000) \cdot 19,15^2 = \underline{522,1 \text{ kNm}}$$

$$V = (1/2) \cdot (\text{zatížení}) \cdot L = (1/2) \cdot (5,392 + 6,000) \cdot 19,15 = \underline{109,1 \text{ kN}}$$

$$F_c = f_d \cdot a = 1038,8 \cdot 8,0 = \underline{8304,0 \text{ kN}}$$

- **Pevnost v tlaku**

$$P_c = A \cdot p_c > F_c$$

$$\lambda = L_{cr}/i = 19,15/0,2759 = 69,4$$

$$p_c = 214,5 \text{ MPa}$$

$$P_c = A \cdot p_c \cdot 1000 = 0,0490 \cdot 214,5 \cdot 1000 = 10512,4 \text{ kN}$$

$$P_c > F_c \quad \underline{10512,4 \text{ kN} > 8304,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 79,0\%}$$

- **Smyk - posouzení na střih**

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} > V$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad \underline{\text{n\acute{ı}zk\acute{y} smyk}} \quad \underline{\rho = 0}$$

$$V > 0,6 \cdot V_c \quad \text{vysok\acute{y} smyk} \quad \rho = ((2 \cdot V / V_c) - 1)^2 = ((2 \cdot 80,0 / 2279,4) - 1)^2 = 0,865$$

$$0 < \rho < 1 \rightarrow 0 < 0,865 < 1$$

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} = (345 \cdot 0,0294) / \sqrt{3} = 5857,1 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot V_c = 0,6 \cdot 5857,1 = 3514,3 \text{ kN}$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad 109,1 \text{ kN} < 3514,3 \text{ kN} \rightarrow \text{spln\acute{e}na podm\acute{ı}nka n\acute{ı}zk\acute{e}ho smyku}$$

$$V_c > V$$

$$\underline{5857,1 \text{ kN} > 109,1 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 1,9\%}$$

- **Ohybov\acute{y} moment**

$$M_c = p_y \cdot (S - \rho \cdot S_v) < 1/2 \cdot p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{t\acute{r}\acute{ı}da 1,2}$$

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \text{ nebo } M_c = p_y \cdot (S_{eff} - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{t\acute{r}\acute{ı}da 3}$$

$$\rho = 0,0$$

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) = 345 \cdot (0,0093 - 0 \cdot 0,0045 / 1,5) = \underline{3216,8 \text{ kNm}}$$

$$M_c > M$$

$$\underline{3216,8 \text{ kNm} > 522,1 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 16,2\%}$$

- **Pr\`{u}\r{e}zov\`{e} kapacity**

$$F_c / P_c + M / M_c < 1$$

$$8304,0 / 10512,4 + 522,1 / 3216,8 < 1$$

$$\underline{0,790 + 0,162 = 0,952 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

Pr\`{u}\r{e}z ocelov\`{e} trouby 700/17 - rozp\`{e}ra \u00a7. 5

Viz. Obr. 31: Sch\`{e}ma pr\`{u}\r{e}zu ocelov\`{e} trubky

- **Přířezové charakteristiky**

$$D = 0,700 \text{ m}$$

$$t = 0,017 \text{ m}$$

$$L = 19,30 \text{ m}$$

$$g = 286,0 \text{ kg/m}$$

$$A = (\pi/4) * ((D)^2 - ((D - (2*t))^2)) =$$

$$= (\pi/4) * ((0,700)^2 - ((0,700 - (2*0,017))^2)) = 0,7854 * 0,0465 = \underline{0,0365 \text{ m}^2}$$

$$A_v = 0,6 * A = 0,6 * 0,0365 = \underline{0,0219 \text{ m}^2}$$

$$I_y = (\pi/64) * ((D)^4 - ((D - (2*t))^4)) =$$

$$= (\pi/64) * ((0,700)^4 - ((0,700 - (2*0,017))^4)) = 0,0491 * 0,0434 = \underline{0,0021 \text{ m}^4}$$

$$Z = I_y / (D/2) = 0,0021 / (0,700/2) = \underline{0,0061 \text{ m}^3}$$

$$S = (1/6) * ((D)^3 - ((D - (2*t))^3)) =$$

$$= (1/6) * ((0,700)^3 - ((0,700 - (2*0,017))^3)) = 0,1667 * 0,0395 = \underline{0,0079 \text{ m}^3}$$

$$S_v = ((A_v/2) * ((D/2) - ((D^3)/12) - ((D - (2*t))^3/12)) / (A/2)) * 2 =$$

$$= ((0,0219/2) * ((0,7/2) - ((0,7^3)/12) - ((0,7 - (2*0,017))^3/12)) / (0,0365/2)) * 2 = \underline{0,0029 \text{ m}^3}$$

$$S_{\text{eff}} = Z + 1,4 * (\sqrt{(140/(D/t) * \epsilon - 1)}) * (S - Z) =$$

$$= 0,0061 + 1,4 * (\sqrt{(140/(0,700/0,017) * 0,89 - 1)}) * (0,0079 - 0,0061) = \underline{0,0078 \text{ m}^3}$$

$$i = \sqrt{(I_y/A)} = \sqrt{(0,0021/0,0365)} = \underline{0,2416 \text{ m}}$$

$$\beta = 1$$

$$L_{\text{cr}} = L * \beta = 19,30 * 1 = 19,30 \text{ m}$$

- **Materiál**

ocel S355

$$t = 0,017 * 1000 = 17 \text{ mm}$$

$$t < 40 \text{ mm}$$

$$\underline{17 \text{ mm} < 40 \text{ mm}}$$

$$p_y = 345 \text{ MPa}$$

- **Klasifikace sekcí zatřídění**

$$\epsilon = \sqrt{(275/p_y)} = \sqrt{(275/345)} = \underline{0,89}$$

$$D/t < 140 * \epsilon^2 \quad 0,700/0,017 < 140 * 0,89^2 \quad 41,2 < 111,6 \rightarrow \underline{3 \text{ třída}}$$

- **Zatížení**

	Charakteristická hodnota zatížení f_k (kN/m)	faktor	Návrhová hodnota zatížení f_d (kN/m)
Stálé tížení	3,85	1,4	4,004
Nahodilé zatížení	5,00	1,2	6,000

Tab. 15: Tabulka zatížení

Viz. Obr. 32: Schéma zatížení

- Smyková síla**

$$V = 1/2 * f_d * L$$

Viz. Obr. 33: Schéma průběhu smykových sil

- Ohybový moment**

$$M = 1/8 * f_d * L^2$$

Viz. Obr. 34: Schéma průběhu ohybových momentů

- Axiální komprese**

kN/m	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	FREW	FREW	FREW
	ULS01	ULS02	ALS01	ALS02	ULS	ALS03	ALS04
f_d	441,0	444,0	315,0	569,0	419,0	436,0	550,0

Tab. 16: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

Viz. Obr. 35: Schéma průběhu axiálních kompresí

- Návrh sil**

$$M = (1/8) * (\text{zatížení}) * L^2 = (1/8) * (4,004 + 6,000) * 19,30^2 = \underline{465,8 \text{ kNm}}$$

$$V = (1/2) * (\text{zatížení}) * L = (1/2) * (4,004 + 6,000) * 19,30 = \underline{96,5 \text{ kN}}$$

$$F_c = f_d * a = 569,0 * 8,0 = \underline{4552,0 \text{ kN}}$$

- Pevnost v tlaku**

$$P_c = A * p_c > F_c$$

$$\lambda = L_{cr}/i = 19,30/0,2416 = 79,9$$

$$p_c = 185,0 \text{ MPa}$$

$$P_c = A * p_c * 1000 = 0,0365 * 185,0 * 1000 = 6748,3 \text{ kN}$$

$$P_c > F_c \quad \underline{6748,3 \text{ kN} > 4552,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 67,5\%}$$

- Smyk - posouzení na střih**

$$V_c = (p_y * A_v) / \sqrt{3} > V$$

$$\underline{V < 0,6 * V_c} \quad \underline{\text{nizký smyk}} \quad \underline{\rho = 0}$$

$$V > 0,6 * V_c \quad \underline{\text{vysoký smyk}} \quad \underline{\rho = ((2 * V / V_c) - 1)^2}$$

$$0 < \rho < 1 \rightarrow 0 < 0,865 < 1$$

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} = (345 \cdot 0,0219) / \sqrt{3} = 4359,4 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot V_c = 0,6 \cdot 4359,4 = 2615,7 \text{ kN}$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad 96,5 \text{ kN} < 2615,7 \text{ kN} \rightarrow \text{splněna podmínka nízkého smyku}$$

$$V_c > V$$

$$4359,4 \text{ kN} > 96,5 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 2,2\%$$

- **Ohybový moment**

$$M_c = p_y \cdot (S - \rho \cdot S_v) < 1/2 \cdot p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 1,2}$$

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \text{ nebo } M_c = p_y \cdot (S_{\text{eff}} - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 3}$$

$$\rho = 0,0$$

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) = 345 \cdot (0,0061 - 0 \cdot 0,0029 / 1,5) = \underline{2097,9 \text{ kNm}}$$

$$M_c > M$$

$$2097,9 \text{ kNm} > 465,8 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 22,2\%$$

- **Průřezové kapacity**

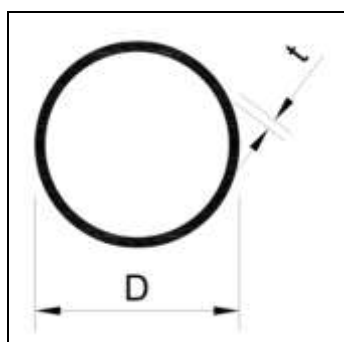
$$F_c / P_c + M / M_c < 1$$

$$4552,0 / 6748,3 + 465,8 / 2097,9 < 1$$

$$\underline{0,675 + 0,222 = 0,897 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

6.3.4 Návrh a posouzení štetové stěny - průřez ocelová trouba

Ocelová trubka 700/22



Obr. 36: Schéma průřezu ocelové trubky

- **Průřezové charakteristiky**

$$D = 0,700 \text{ m}$$

$$t = 0,022 \text{ m}$$

$$A = (\pi/4) \cdot ((D)^2 - ((D - (2 \cdot t))^2)) =$$

$$= (\pi/4) \cdot ((0,700)^2 - ((0,700 - (2 \cdot 0,022))^2)) = 0,7854 \cdot 0,0597 = \underline{0,0469 \text{ m}^2}$$

$$A_v = 0,6 * A = 0,6 * 0,0469 = \underline{0,0281 \text{ m}^2}$$

$$I_y = (\pi/64) * ((D)^4 - ((D - (2 * t))^4)) = \\ = (\pi/64) * ((0,700)^4 - ((0,700 - (2 * 0,022))^4)) = 0,0491 * 0,0549 = \underline{0,0027 \text{ m}^4}$$

$$Z = I_y / (D/2) = 0,0027 / (0,700/2) = \underline{0,0077 \text{ m}^3}$$

$$S = (1/6) * ((D)^3 - ((D - (2 * t))^3)) = \\ = (1/6) * ((0,700)^3 - ((0,700 - (2 * 0,022))^3)) = 0,1667 * 0,0607 = \underline{0,0101 \text{ m}^3}$$

$$S_v = ((A_v/2) * ((D/2) - ((D^3)/12) - ((D - (2 * t))^3/12)) / (A/2)) * 2 = \\ = ((0,0281/2) * ((0,7/2) - ((0,7^3)/12) - ((0,7 - (2 * 0,022))^3/12)) / (0,0469/2)) * 2 = \underline{0,0038 \text{ m}^3}$$

$$S_{\text{eff}} = Z + 1,4 * (\sqrt{(140/(D/t) * \epsilon - 1)}) * (S - Z) = \\ = 0,0077 + 1,4 * (\sqrt{(140/(0,700/0,022) * 0,89 - 1)}) * (0,0101 - 0,0077) = \underline{0,0108 \text{ m}^3}$$

- **Materiál**

ocel S460

$$t = 0,022 * 1000 = 22 \text{ mm}$$

$$t < 40 \text{ mm}$$

$$\underline{22 \text{ mm} < 40 \text{ mm}}$$

$$p_y = 345 \text{ MPa}$$

- **Klasifikace sekcí zatřídění**

$$\epsilon = \sqrt{(275/p_y)} = \sqrt{(275/345)} = 0,89$$

$$D/t < 140 * \epsilon^2$$

$$0,700/0,022 < 140 * 0,89^2$$

$$\underline{31,8 < 111,6 \rightarrow 3 \text{ třída}}$$

Viz. Tab. 6: Tabulka sil vypočtených programem Plaxis a Frew

- **Návrh sil - M_{max}**

$$M = 3439,0 \text{ kNm}$$

$$V = 1300,0 \text{ kN}$$

$$F_c = 1148,0 \text{ kN}$$

- **Smyk - posouzení na střih**

$$\underline{V < 0,6 * V_c} \quad \underline{\text{nízký smyk}} \quad \underline{\rho = 0}$$

$$V > 0,6 * V_c \quad \text{vysoký smyk} \quad \rho = ((2 * V/V_c) - 1)^2$$

$$0 < \rho < 1 \rightarrow 0 < 0,287 < 1$$

$$V_c = (p_y * A_v) / \sqrt{3} = (345 * 0,0281) / \sqrt{3} = 5600,3 \text{ kN}$$

$$0,6 * V_c = 0,6 * 5600,3 = 3360,2 \text{ kN}$$

$$V < 0,6 * V_c \quad 3360,2 \text{ kN} > 1300,0 \text{ kN} \rightarrow \text{splněna podmínka nízkého smyku}$$

$$V_c > V$$

$$\underline{5600,3 \text{ kN} > 1300,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 23,2\%}$$

- **Ohybový moment**

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \text{ nebo } M_c = p_y \cdot (S_{\text{eff}} - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 3}$$

$$\rho = 0,0$$

$$M_c = p_y \cdot (S_{\text{eff}} - \rho \cdot S_v / 1,5) = 345 \cdot (0,0108 - 0 \cdot 0,0038 / 1,5) = 3711,5 \text{ kNm}$$

$$M_c > M$$

$$\underline{3711,5 \text{ kNm} > 3439,0 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 92,7\%}$$

- **Průřezové kapacity**

$$F_c / P_c + M / M_c < 1$$

$$1148,4 / 345 + 3439,0 / 3711,5 < 1$$

$$\underline{0,071 + 0,927 = 0,998 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

- **Návrh sil - V_{max}**

$$M = 1989,0 \text{ kNm}$$

$$V = 2643,0 \text{ kN}$$

$$F_c = 1365,0 \text{ kN}$$

- **Smyk - posouzení na střih**

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad \text{nízký smyk} \quad \rho = 0$$

$$V > 0,6 \cdot V_c \quad \text{vysoký smyk} \quad \rho = ((2 \cdot V / V_c) - 1)$$

$$0 < \rho < 1 \rightarrow 0 < 0,287 < 1$$

$$V_c = (p_y \cdot A_v) / \sqrt{3} = (345 \cdot 0,0281) / \sqrt{3} = 5600,3 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot V_c = 0,6 \cdot 5600,3 = 3360,2 \text{ kN}$$

$$V < 0,6 \cdot V_c \quad 3360,2 \text{ kN} > 1300,0 \text{ kN} \rightarrow \text{splněna podmínka nízkého smyku}$$

$$V_c > V$$

$$\underline{5600,3 \text{ kN} > 2643,0 \text{ kN} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 47,2\%}$$

- **Ohybový moment**

$$M_c = p_y \cdot (Z - \rho \cdot S_v / 1,5) \text{ nebo } M_c = p_y \cdot (S_{\text{eff}} - \rho \cdot S_v / 1,5) \rightarrow \text{třída 3}$$

$$\rho = 0,0$$

$$M_c = p_y \cdot (S_{\text{eff}} - \rho \cdot S_v / 1,5) = 345 \cdot (0,0108 - 0 \cdot 0,0038 / 1,5) = 3711,5 \text{ kNm}$$

$$M_c > M$$

$$\underline{3711,5 \text{ kNm} > 1989,0 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK} \rightarrow 53,6\%}$$

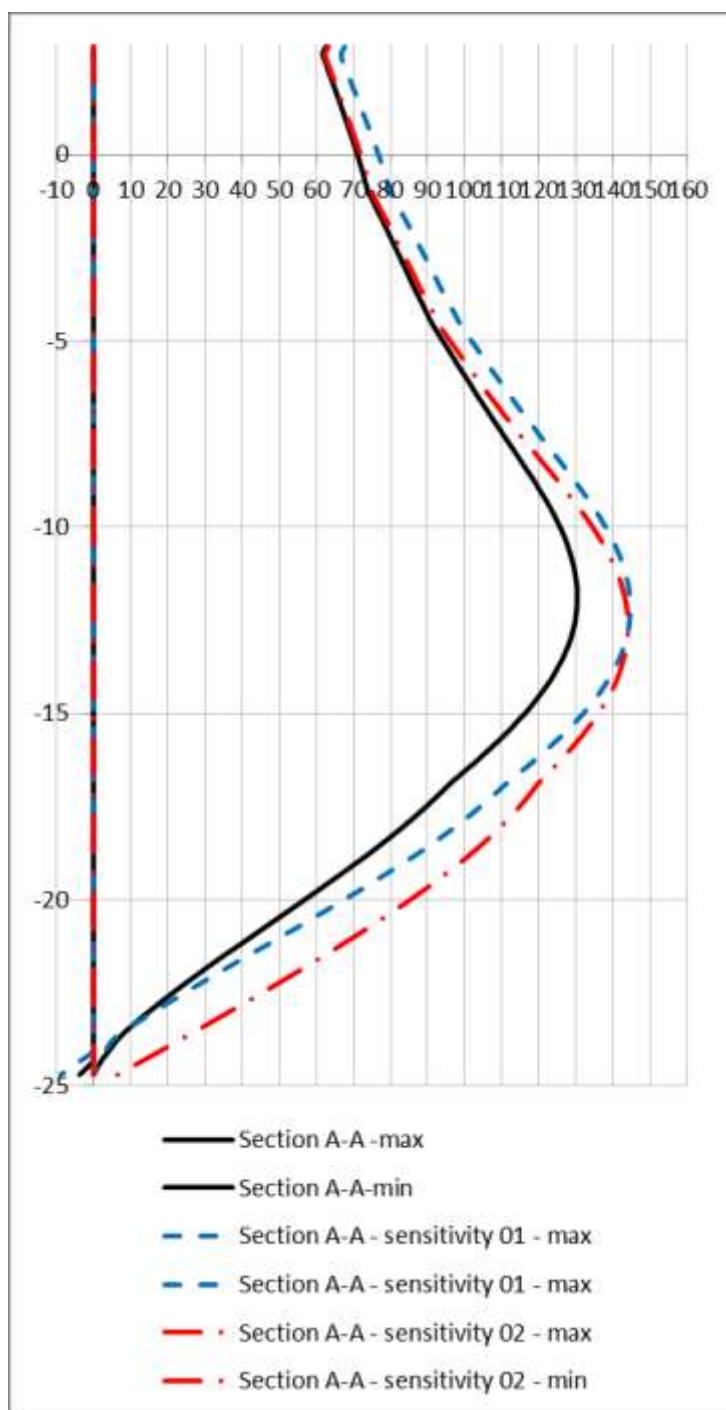
- **Průřezové kapacity**

$$F_c/P_c + M/M_c < 1$$

$$1365,0/345 \cdot 0,0469 \cdot 1000 + 1989,0/3711,5 < 1$$

$$\underline{0,084 + 0,536 = 0,620 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

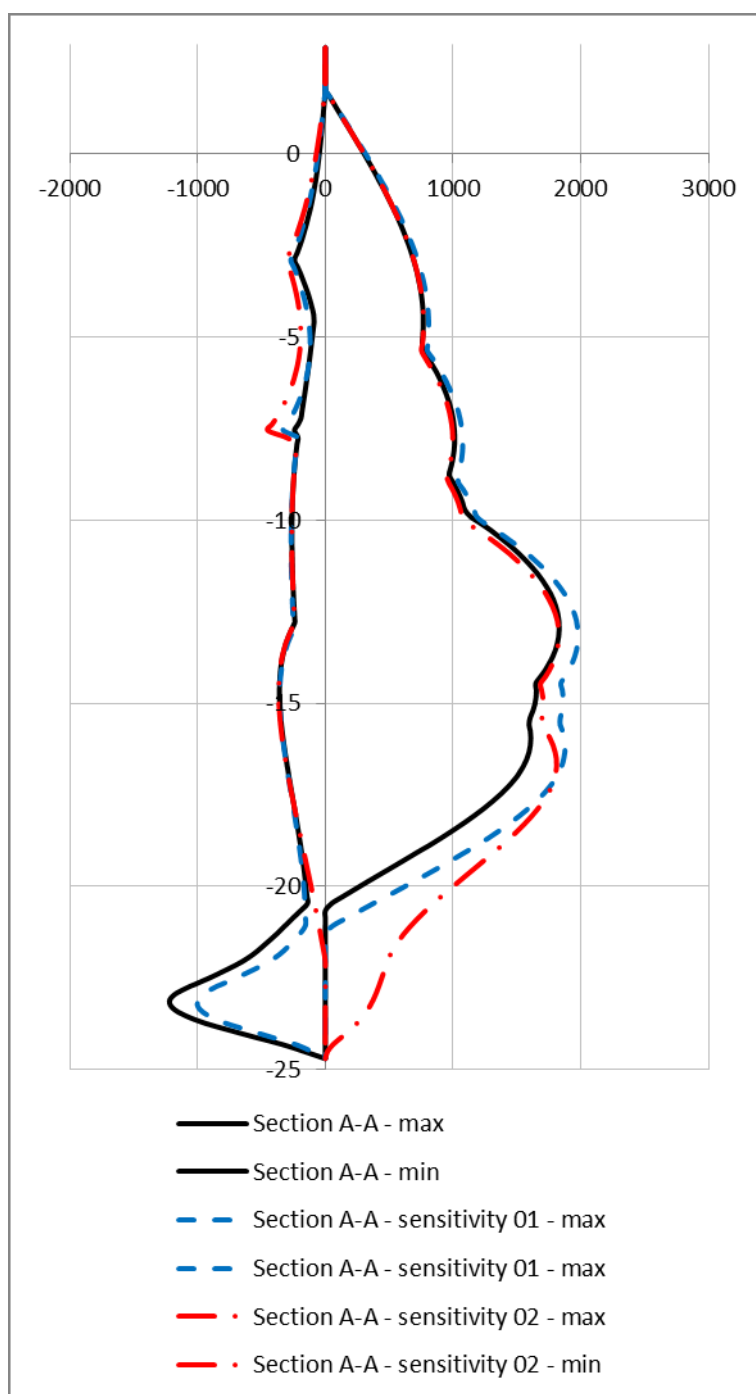
7. Vyhodnocení dosažených výsledků



Obr. 37: Graf sensitivity průhybů

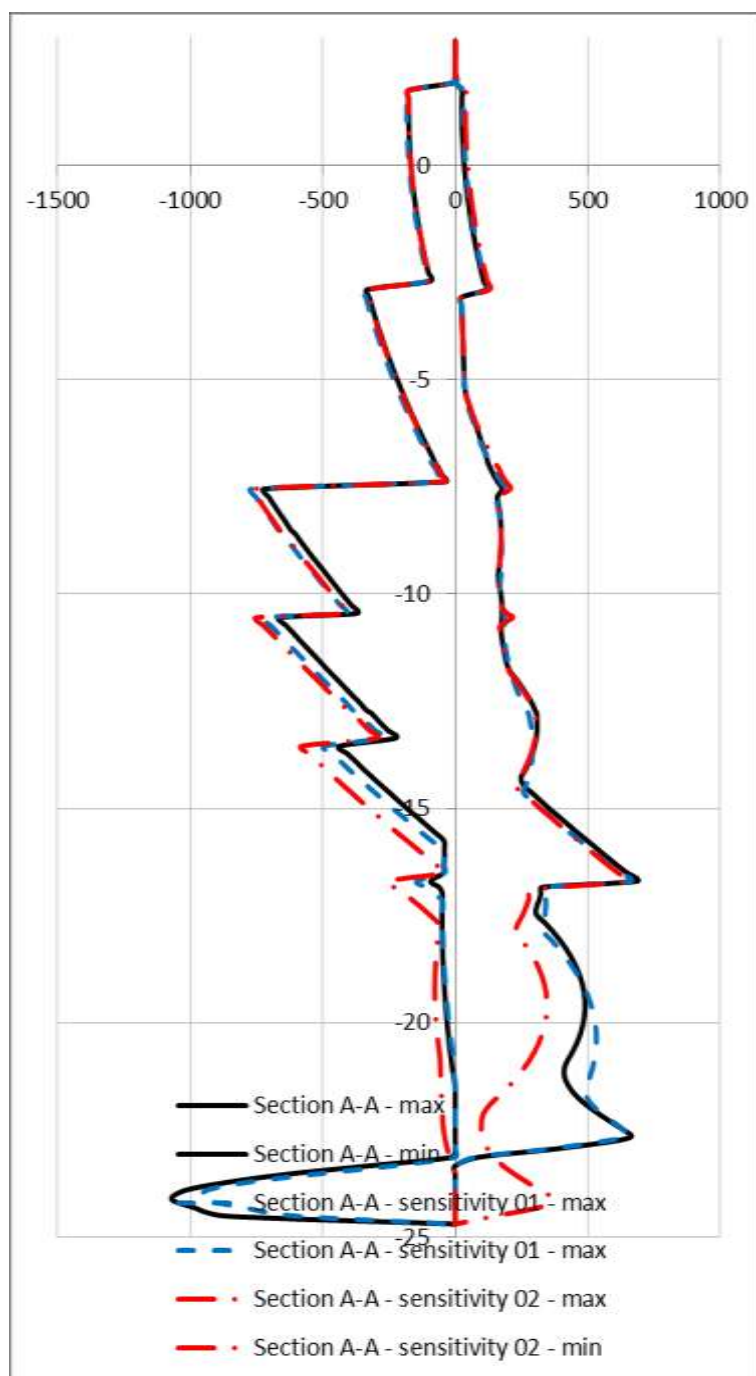
V grafu jsou vidět rozdílné deformace průhybu. Tyto deformace jsou způsobené a) jímka je plná vody (levá strana) a b) voda z jímky je již odčerpána. Při zatopení jímky nedochází k žádným průhybovým deformacím. Dále zde byla pro obě varianty provedena sensitivity a to v podobě přetížení konstrukce a zhoršení vlastností materiálu.

Konstrukce musí být navržena tak, aby odolala i vyjímecným zatížením, proto se konstrukce na přitěžuje či se její materiálové vlastnosti zhoršují.



Obr. 38: Graf sensitivity průhybů ohybových momentů

V grafu jsou vidět rozdílné deformace ohybových momentů. Tyto deformace jsou způsobené a) jímka je plná vody (levá strana) a b) voda z jímky je již odčerpána. Při zatopení jímky dochází ke vzniku daleko menších ohybových momentů než v případě, kde je jímka zatopena. Opět zde platí zvětšení přetížení a zhoršení vlastností materiálu.



Obr. 39: Graf sensitivity průhybů smykových sil

V grafu jsou vidět rozdílné deformace smykových sil. Tyto deformace jsou způsobené a) jímka je plná vody (levá strana) a b) voda z jímky je již odčerpána. Při zatopení jímky dochází ke vzniku daleko menších smykových silám než v případě, kde je jímka zatopena. I zde platí zvětšení přetížení a zhoršení vlastností materiálu.

Z těchto tří grafů (viz. výše) vyplývá, že při vybudování stavební jímky nedocházelo k žádným nebo minimálním deformacím, po postupném odčerpávání se deformace působící na štětovou stěnu zvětšovala.

Z výpočtů (viz. výše) je navržena štetová stěna, pět vzpěr kruhového průřezu a pět vzpěr válcovaného průřezu. Výpočty vzpěr jsou provedeny pouze pro vzpěry různých profilů. Tři vzpěry kruhového průřezu jsou navrženy na stejný profil, jako reprezentativní výpočet jedné z těchto vzpěr byla vybrána ta, která má přenést největší síly. Tři vzpěry válcovaného průřezu jsou navrženy na stejný profil, jako reprezentativní výpočet jedné z těchto vzpěr byly vybrána ta, která má přenést největší síly. Síly a deformace na které byly tyto prvky navrženy byly vypočítány programem Plaxis 2D a Frew. Z hlediska ekonomické stability a zvýšení bezpečnost byl výpočet v mnoha částech předimenzován.

		Plaxis			Plaxis			Plaxis		
		ULS01			ULS02			ALS01 or ALS02		
		M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)	M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)	M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)
Štetová stěna	M_{max}	3069	1318	1334	3439	1300	1148	3078	1323	369
	M_{max}	3069	1318	1334	3439	1300	1148	3078	1323	369
		FREW			FREW			FREW		
		ULS01			ALS03			ALS04		
		M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)	M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)	M (kNm)	V (kN)	Fc (kN)
Štetová stěna	M_{max}	1611	272	-	1743	268	-	1609	286	-
	M_{max}	1611	272	-	1743	268	-	1609	286	-

Tab. 6: Tabulka sil vypočtených programem Plaxis a Frew

	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	PLAXIS	FREW	FREW	FREW
	ULS01	ULS02	ALS01	ALS02	ULS	ALS03	ALS04
	f_{Ed} (kN/m)	f_{Ed} (kN/m)	f_{Ed} (kN/m)	f_{Ed} (kN/m)	f_{Ed} (kN/m)	f_{Ed} (kN/m)	f_{Ed} (kN/m)
Vzpěra 1	121,0	123,0	170,0	160,0	176,0	182,0	177,0
Vzpěra 2	1008,0	1038,0	720,0	720,0	373,0	387,0	359,0
Vzpěra 3	980,0	1027,0	270,0	535,0	898,0	959,0	974,0
Vzpěra 4	953,0	969,0	844,0	552,0	810,0	850,0	940,0
Vzpěra 5	441,0	444,0	315,0	569,0	419,0	436,0	550,0

Tab. 7: Tabulka sil vypočtených programem Plaxis a Frew

Na tyto vypočtené síly byl proveden návrh prvků.

	Prvek	Rozměry prvku	Ocel
ŠTĚTOVÁ STĚNA	Trubka	700/22	S355
Konstrukce 1	Vzpěra	600/10	S355
	Válcovaný profil	2 x UB 533 x 210 x 109	S355
Konstrukce 2	Vzpěra	800/20	S355
	Válcovaný profil	2 x UB 914 x 305 x 289	S355
Konstrukce 3	Vzpěra	800/20	S355
	Válcovaný profil	2 x UB 914 x 305 x 289	S355
Konstrukce 4	Vzpěra	800/20	S355
	Válcovaný profil	2 x UB 914 x 305 x 289	S355
Konstrukce 5	Vzpěra	700/17	S355
	Válcovaný profil	2 x UB 838 x 292 x 226	S355

Tab. 17: Seznam navržených ocelových prvků

Jelikož se jednalo o jímku v moři ve Městě Hong Kong, veškeré použité materiály byla v angličtině, setkala jsem se tedy s mnoha nepřeložitelnými názvy. Použitá literatura na výpočet a návrh stavební jímky byla speciálně schválená pro město Hong Kong.

8. Závěr

V rešerši byla popsána technologie a zabezpečení nepropustných stavebních jímek. Dále bylo obecně poukázáno na druhy zatížení působících na konstrukce. A v poslední části byl proveden návrh stavební jímky v moři na určitém příkladu. V kapitole vyhodnocení výsledků jsou veškeré dosažené a vypočítané údaje vyhodnocené.

Byla navržena pažící konstrukce ve specifických geologických a provozních podmínkách a pro kombinaci specifických místních stavebních předpisů.

Rozsah konstrukce odpovídá měřítku nadnárodních projektů mezinárodního stavebního trhu.

9. Seznam obrázků

- Obr. 1: Zjednodušená geologická mapa České republiky
- Obr.2 : Obnažené pilíře vzniklé tryskovou injektáží
- Obr. 3: Podzemní stěna monolitická v Praze
- Obr. 4: Podzemní stěna prefabrikovaná
- Obr. 5: Stěna jámy z předvrtávaných pilot, bezbariérová šachta do stanice metra Florenc
- Obr. 6: Štětová stěna, výstavba plavební komory na Vltavě
- Obr. 7: Štětová stěna, rekonstrukce stupně na řece Olši
- Obr. 8: Tlak podzemní vody na pažení: a – pata pažící stěny je vetknuta do nepropustné zeminy, b – pata pažící konstrukce se nachází v propustné zemině
- Obr. 9: Schéma konstrukce
- Obr. 10: Tlak vlny na konstrukci
- Obr. 11: Batymetrická mapa jezera Milada na území ČR
- Obr. 12: Měření - přístroj SonTek River Surveyor S5
- obr. 13.: Používané systémy pro měření mořského dna
- Obr. 14: Trasa metra ve městě Hong Kong
- Obr. 15: Geologický řez místem stavby
- Obr. 16: Půdorys stavební jímky s řezy A-A', B-B' a C-C'
- Obr. 17: Řez jímky A-A'
- Obr. 18 : Model štětové stěny a geologie v Plaxisu 2D s mořskou vlnou
- Obr. 19 :Model štětové stěny a geologie v programu Frew - počáteční a konečná fáze
- Obr. 20: Ohybové momenty pro mezní stav únosnosti
- Obr. 21: Smykové síly pro mezní stav únosnosti
- Obr. 22: Totální posun poslední fáze pro mezní stav únosnosti
- Obr. 23: Ohybové momenty pro mezní stav použitelnosti
- Obr. 24: Smykové síly pro mezní stav použitelnosti
- Obr. 25: Totální posun poslední fáze pro mezní stav použitelnosti
- Obr. 26: Schéma průřezu ocelové vzpěry
- Obr. 27: Schéma zatížení
- Obr. 28: Schéma průběhu ohybových momentů
- Obr. 29: Schéma průběhů smykových sil
- Obr. 30: Schéma axiální komprese
- Obr. 31: Schéma průřezu ocelové trubky

Obr. 32: Schéma zatížení

Obr. 33: Schéma průběhu smykových sil

Obr. 34: Schéma průběhu ohybových momentů

Obr. 35: Schéma průběhu axiálních kompresí

Obr. 36: Schéma průřezu ocelové trubky

Obr. 37: Graf sensitivity průhybů

Obr. 38: Graf sensitivity průhybů ohybových momentů

Obr. 39: Graf sensitivity průhybů smykových sil

10. Seznam tabulek

Tab. 1: Provádění štětového pažení s ohledem na jednotlivé typy zeminy

Tab. 2: Analýza řezu A-Á softwarem Plaxis 2D a Frew

Tab. 3: Parametry zemin

Tab. 4: Parametry zemin

Tab. 5: Fáze výpočtu

Tab. 6: Tabulka sil vypočtených programem Plaxis a Frew

Tab. 7: Tabulka sil vypočtených programem Plaxis a Frew

Tab. 8: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

Tab. 9: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

Tab. 10: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

Tab. 11: Tabulka zatížení

Tab. 12: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

Tab. 13: Tabulka zatížení

Tab. 14: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

Tab. 15: Tabulka zatížení

Tab. 16: Návrhové hodnoty zatížení z Plaxis 2D a Frew

Tab. 17: Seznam navržených ocelových prvků

11. Seznam literatury a zdrojů

- [1] MASOPUST, Jan a Věra GLISNÍKOVÁ. Zakládání staveb: modul M01 : zakládání staveb. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 302 s. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 97880-7204-538-9
- [2] TURČEK, Peter. Zakládání staveb. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-807-6023-3
- [3] HUDELMAIER, Klaus F. Special deep foundation: compendium methods and equipment. Berlin: Ernst, 2008. ISBN 978-3-433-02904-6.
- [4] EICHLER, Jaroslav. Zakládání staveb. 1. vyd. Brno: Rektorát VUT v Brně, 1980, 227 s. Učební texty vysokých škol.
- [5] HULLA, Jozef. Zakladanie stavieb. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 1998. ISBN 80-889-0505-2
- [6] US ARMY CORPS OF ENGINEERS. Design of Sheet Pile Walls. Washington, D.C., 1994
- [7] WEIGLOVÁ, Kamila. Mechanika zemin. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 186 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-7204-507-5
- [7] <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/obsahjama.html>
- [8] Zajištění stavebních jam. *Zakladani* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/>
- [9] Navrhování pažených stavebních jam. *Návrhování pažících konstrukcí* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: http://www.profesis.cz/files//dokumpdf/tp1.9.6/tp1.9.6_kap3.pdf
- [10] Jezero Milada. *Jezera* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.pku.cz/jezera/milada/>

- [11] Seznámení se špičkovým hydrologickým měřicím systémem. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.chmuul.org/aktuality/2013-11-08-krinice/>
- [12] Comparison of bathymetric systems. *Bathyswath* [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.bathyswath.com/bathymetric-systems-comparison>
- [13] Geotechnical standards in Hong Kong. ACECC Workshop on Harmonization of Design Codes in Asian Region. 2006, 2006(1), 9.
- [14] Šachta pro bezbariérový přístup do stanice metra B Florenc. Zakládání staveb [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz/cz/aktuality/sachta-pro-bezbarierovy-pristup-do-stanice-metra-b-florenc>
- [15] Výstavba plavební komory na Vltavě v Českém Vrbném. Vodohospodářské stavby [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.vodohospodarske-stavby.cz/clanek/vystavba-plavebni-komory-na-vltave-v-ceskem-vrbnem/>
- [16] Základní parametry stavby. GolikeVH [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.golikvh.cz/olse-darkov-rekonstrukce-stupne.html>
- [17] ČSN EN 1997-1 : 2006. [i] Eurokód 7 - Navrhování geotechnických konstrukcí – část 1: Obecná pravidla. [i] Praha: Český normalizační institut, 2006. 138 s.
- [18] ČSN EN 1991-1-4 ed.2 : 2013. [i] Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. [i] Praha: Český normalizační institut, 2013. 124 s.
- [19] ČSN EN 1991-1-7 : 2007. [i] Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí – část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení. [i] Praha: Český normalizační institut, 2007. 64 s.
- [20] NGAI, Edward. New Works Design Standards Manual Section 4 Civil Engineering. Hong Kong: MTR Corporation Limited, 2013. 170 pp.

[21] Civil Engineering Office : [i] Port Works Design Manual Part 2 – Guide to Design of Piers and Dolphins. [/i] Hong Kong: The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. 2004. 124 pp.

12. Seznam použitých zkratk a symbolů

SWL	výška mořské hladiny
γ_w	objemová tíha vody
$H_{1/3}$	významná výška vln
T	perioda navržené vlny
H_D	návrh výšky vlny
L	návrh délky vlny
d_b	lokální hladina vody
α_1	faktor
α_2	faktor
α_3	faktor
β	úhel mezi směrem vlny a linií kolmo na strukturu
η^*	výška na kterou působí tlak vlny
p_{w1}	tlak vlny na přední straně konstrukce
p_{w2}	tlak vlny na přední straně konstrukce
p_{w3}	tlak vlny na přední straně konstrukce
α	odklon horninové kotvy od vodorovné
β	odklon výslednice tření od svislé
δ	odklon výslednice zemního tlaku od vodorovné
θ	odklon šikmé části zemního klínu od vodorovné
γ	objemová tíha zeminy v přirozeném uložení
γ_{sat}	objemová tíha zeminy nasycené vodou
γ_{su}	objemová tíha zeminy pod hladinou vody
γ_w	objemová tíha vody
γ_v	fiktivní objemová tíha vody rozpočítaná na celou výšku zemního klínu
γ_ϕ	součinitel spolehlivosti materiálu, úhel vnitřního tření
γ_c	součinitel spolehlivosti materiálu, soudržnost
γ_f	součinitel zatížení
η	stupeň stability
ψ	úhel dilatance
ϕ	úhel vnitřního tření
c	soudržnost
v	Poissonovo číslo

A	plocha průřezu
m	metr
kN	kilo newton MPa
d	hloubka vetknutí z mocnost vrstvy
h	výška pažící konstrukce stěny
hw	výška vodního sloupce
hv	výška vodního sloupce
Se	zemní tlak v klidu
Sa	zemní tlak aktivní
Sp	zemní tlak pasivní
Ka	součinitel zemního tlaku aktivního
Kp	součinitel zemního tlaku pasivního
σ_v	vertikální geostatické napětí
σ_a	aktivní zemní tlak, vodorovný
n	je pórovitost zeminy
i	je hydraulický spád
D	průřez trouby
t	tloušťka stěny trubky
A_v	smyková plocha
I_y	moment setrvačnosti
Z	modul pružnosti
S	modul plasticity
S_v	modul pružnosti ve smyku
S_{eff}	efektivní modul pružnosti
p_y	návrhová pevnost ocele
ε	koeficient v závislosti na
M	ohybový moment

V	smyková síla
F_c	normálová síla
g	jednotková hmotnost
L	délka vzpěry
i	poloměr otáčení
L_{cr}	kritická délka vzpěry
λ	štíhlost
D	hloubka řezu
B	šířka řezu
T	tloušťka pásnice
r	poloměr
$2B$	totální šířka
d	celková výška
Z_x	modul pružnosti
S_x	modul plasticity
i_x	poloměr otáčení